ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

Année 1971 N° 27

LE MAÏS-FOURRAGE DANS L'ALIMENTATION DES BOVINS

THESE

POUR LE DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

(DIPLOME D'ETAT)

Présentée et soutenue publiquement en Mai 1971

DEVANT

L'UNIVERSITÉ PAUL-SABATIER DE TOULOUSE

PAR

GRAVIERE Bernard, Joseph, Edgard

né le 19 Octobre 1944, à Virollet (Charente-Maritime)

JURY :

Président : M. ROUX, Professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse

Assesseurs { M. FALIU, Professeur à l'École Nat. Vétérinaire de Toulouse
M. TOURNUT, Professeur à l'École Nat. Vétérinaire de Toulouse

TOULOUSE

IMPRIMERIE DU SUD-OUEST

1, RUE TRIPIÈRE

1971

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546526_0069

LE MAÏS-FOURRAGE
DANS L'ALIMENTATION DES BOVINS

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

Année 1971 N° 27

LE MAÏS-FOURRAGE DANS L'ALIMENTATION DES BOVINS

THESE

POUR LE DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

(DIPLOME D'ÉTAT)

Présentée et soutenue publiquement en Mai 1971

DEVANT

L'UNIVERSITÉ PAUL-SABATIER DE TOULOUSE

PAR

GRAVIERE Bernard, Joseph, Edgard

né le 19 Octobre 1944, à Virollet (Charente-Maritime)

JURY :

Président : M. ROUX, Professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse

Assesseurs { M. FALIU, Professeur à l'École Nat. Vétérinaire de Toulouse
M. TOURNUT, Professeur à l'École Nat. Vétérinaire de Toulouse

TOULOUSE

IMPRIMERIE DU SUD-OUEST

1, RUE TRIPIÈRE

1971

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

Directeur. . . . . M. **Florio.**
Directeurs honoraires. . . . . MM. **Pons, Darraspen**
Professeur honoraire . . . . . M. Lombard

PERSONNEL ENSEIGNANT

Chaire de Pharmacie-Toxicologie.

Professeur titulaire. . . . . M. **Godfrain**
Maître-Assistant. . . . . Mme **Burgat-Secaze**

Pharmacie - Toxicologie

Chaire de Physique - Chimie Biologiques et Médicales.

Professeur titulaire. . . . . MM. **Rico**
Maître-Assistant agrégé. . . . . **Lorgue**

Physique biologique et médicale
Chimie biologique et médicale

Chaire d'Anatomie des Animaux domestiques.

Professeur titulaire. . . . . M. **Pavaux**

Anatomie descriptive - Extérieur
Anatomie Appliquée - Tératologie

Chaire de Physiologie - Thérapeutique.

Professeur titulaire. . . . . MM. **Ruckebusch**
Maître-Assistant agrégé. . . . . **Fargeas**

Physiologie - Thérapeutique - Pharmacodynamie

Chaire d'Histologie - Anatomie Pathologique.

Professeur titulaire. . . . . MM. **Van Haverbeke**
Maître de Conférences, non Chef de Service, Professeur sans Chaire. . . . . **Cabanié,**

Histologie - Embryologie - Anatomie Pathologique

Chaire d'Hygiène et Industrie des Aliments d'origine animale.

Professeur titulaire. . . . . MM. **Labie**
Maître-Assistant. . . . . **Eeckhoutte**

Hygiène, Inspection, Contrôle et Technologie des Denrées alimentaires d'origine animale

Chaire de Parasitologie et Maladies Parasitaires.

Professeur titulaire. . . . . MM. **Brizard**
Maître-Assistant. . . . . **Dorchies**

Zoologie appliquée - Parasitologie externe
Parasitologie interne - Clinique

Chaire de Sémiologie et Pathologie Médicale des Equidés et Carnivores.

Professeur titulaire. . . . . MM. **Florio**
Maître de Conférences, non Chef de Service, Professeur sans Chaire. . . . . **Lescure**
Maître-Assistant. . . . . **Guelfi**

Sémiologie et Pathologie Médicale des Equidés et des Carnivores - Législation Vétérinaire et Déontologie - Clinique

Chaire de Pathologie Médicale du Bétail et des animaux de basse-cour.

Professeur titulaire. . . . . MM. **Tournut**
Maître de Conférences, non Chef de Service, Professeur sans chaire. . . . . **Espinasse,**

Sémiologie et Pathologie Médicale du Bétail et des animaux de basse-cour - Clinique
Clinique ambulatoire

Chaire de Pathologie Chirurgicale.

Professeur titulaire. . . . . N.
Maître de Conférences Chef de Service. . . . . M. **Cazieux**

Propédeutique et Sémiologie Chirurgicale
Technique Chirurgicale - Pathologie Chirurgicale
Podologie - Clinique

Chaire de Pathologie de la Reproduction.

Professeur titulaire. . . . . MM. **Berthelon**
Maître de Conférences, non Chef de Service, Professeur sans Chaire. . . . . **Royal**

Sémiologie et Propédeutique
Pathologie de la Reproduction
Obstétrique - Clinique

Chaire de Maladies Contagieuses - Zoonoses - Législation Sanitaire.

Professeur titulaire. . . . . MM. **Saurat**
Maître-Assistant. . . . . **Chantal**

Maladies contagieuses - Zoonoses
Législation sanitaire

Chaire de Pathologie Générale - Microbiologie - Immunologie.

Professeur titulaire. . . . . M. **Lautié**

Pathologie générale - Microbiologie - Immunologie

Chaire de Zootechnie et d'Economie rurale.

Professeur titulaire. . . . . MM. **Queinnec**
Maître-Assistant. . . . . **Darre**

Ethnologie - Génétique Appliquée - Hygiène Générale
Zootechnie - Elevage
Economie Générale et des Productions animales

Chaire d'Alimentation.

Professeur titulaire. . . . . MM. **Fallu**
Maître-Assistant agrégé. . . . . **Griess**

Botanique Appliquée et Bromatologie
Agronomie - Alimentation

COURS COMPLEMENTAIRES — CHARGES D'ENSEIGNEMENT

Antibiothérapie des Maladies infectieuses. . . . . MM. **Monnier**
Aspect médical des Zoonoses. . . . . **Armengaud**
Energétique. . . . . **Labouche**
Initiation à l'informatique biomédicale. . . . . **Fernet**
Agronomie. . . . . **Combret**
Métabolismes. . . . . **Raynaud**

La Faculté et l'Ecole déclarent n'être pas responsables des opinions émises par les candidats (Délibération de la Faculté en date du 10 mai 1891 et du Conseil de l'Ecole en date du 13 juin 1924.)

A MA FEMME

Dont l'aide et la compréhension m'ont beaucoup aidé dans l'élaboration de cette thèse.

Témoignage de mon profond amour.

A MA FILLE

A MES PARENTS

Témoignage de mon affection et de ma grande reconnaissance pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour moi.

A LA MÉMOIRE DE MES GRANDS-PÈRES

A MES GRANDS-MÈRES

A MES FRÈRES

A TOUTE MA FAMILLE

A TOUS MES AMIS

A NOTRE PRÉSIDENT DE THÈSE :

MONSIEUR LE PROFESSEUR ROUX

de l'Université Paul-Sabatier de Toulouse.

Qui nous a fait le très grand honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Hommages respectueux.

UNIV. LEIDEN BIBL.

A NOTRE JURY DE THÈSE :

MONSIEUR LE PROFESSEUR FALIU

de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

A qui nous adressons l'expression de notre vive reconnaissance pour l'enseignement qu'il nous a prodigué.

Hommages respectueux.

MONSIEUR LE PROFESSEUR TOURNUT

de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

Qui voulut bien accepter de faire partie de notre jury de thèse.

Avec notre respectueuse reconnaissance.

A MONSIEUR LE MAITRE ASSISTANT AGRÉGÉ

GRIESS

Pour les conseils qu'il nous a prodigués dans l'élaboration de ce modeste travail.

Qu'il veuille bien accepter le témoignage de notre profonde reconnaissance.

A TOUS MES MAITRES

DE L'ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE

DE TOULOUSE

INTRODUCTION

Le maïs occupe dans le monde une place très importante dans l'alimentation de l'homme et des animaux, il fournit :
22 % de la production mondiale des céréales,
48 % des céréales secondaires.

Le maïs a vu sa position s'améliorer régulièrement dans le monde et surtout aux U.S.A. où il occupe une place capitale. En France, il est cultivé depuis fort longtemps, mais la « révolution » du maïs est relativement récente comparée à ce qui s'est passé aux U.S.A. et ne date que d'une quinzaine d'années.

Parmi les nombreux atouts du maïs (accroissements des rendements en grains, importance croissante des aliments concentrés...) la souplesse de son utilisation sous forme de grain ou de fourrage tient une place importante.

La figure 1 reporte l'évolution des surfaces en maïs-grain et en maïs-fourrage aux U.S.A. au cours des cinquante dernières années.

La surface traitée en maïs-fourrage a globalement tendance à diminuer alors que la proportion récoltée et conservée par ensilage s'accroît.

Au cours des dernières années, l'apport du maïs-fourrage dans le bilan alimentaire assuré par la totalité du maïs ne représentait que 13 % de l'énergie nette contre 87 % du grain.

Bien qu'il ne soit tenu en France aucune statistique précise concernant la production du maïs-fourrage, il semble que cet aliment connaît depuis quelques années un succès important dans différentes régions françaises et que plus de 200 000 ha ont été réservés cette année à cette culture.

Une étude prospective de l'A.G.P.M. (1) tend à montrer l'importance croissante de la culture du maïs dans les pays membres de la C.E.E. :

TABLEAU I

	MAÏS-GRAIN (en milliers d'ha)		MAÏS-FOURRAGE (en milliers d'ha)	
	1970	1975	1970	1975
France.	1 340	1 800	230	750
Italie.	1 100	1 400	180	350
Allemagne. . .	110	400	120	250
Bénélux.	...	100	70	150
C.E.E.	2 550	3 700	600	1 500

Cet accroissement de la culture et de la production du maïs-fourrage est dû en majeure partie aux progrès accomplis tant au niveau de la production que pour sa conservation et son utilisation.

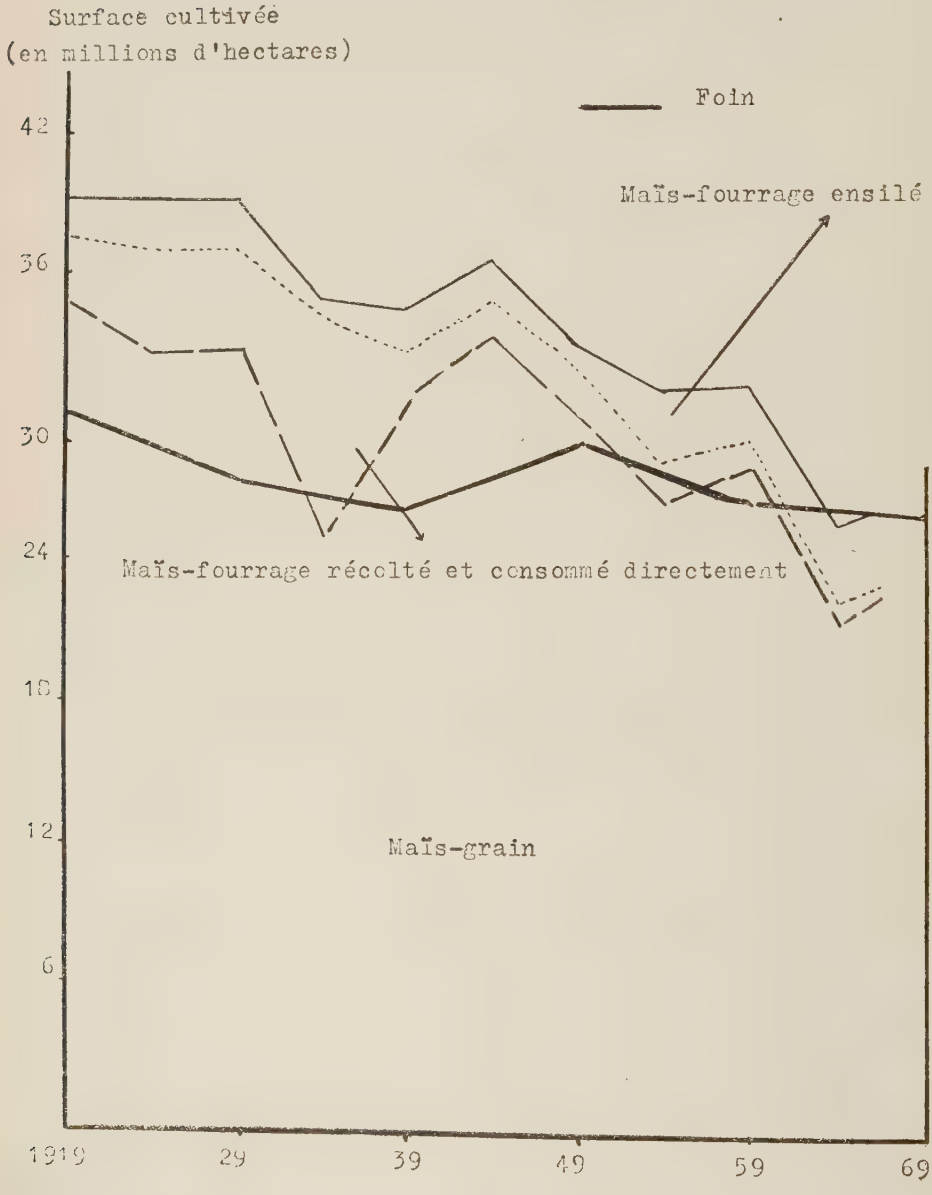
Dans cette thèse, nous nous proposons de rappeler assez brièvement, dans une première partie, les caractéristiques botaniques et culturales du maïs-fourrage puis d'en étudier la composition chimique et la valeur alimentaire. Nous envisagerons ensuite successivement les différentes formes d'utilisation de ce fourrage dans l'alimentation des bovins et dans un quatrième chapitre

(1) A.G.P.M. : Association Générale des Producteurs de Maïs.

les possibilités de supplémentation afin d'obtenir des rations bien équilibrées. Nous terminerons enfin cette étude en étudiant les accidents liés à l'utilisation de cet aliment.

FIG. 1. — Evolution de la culture aux U.S.A. Place relativé des surfaces consacrées au maïs-grain et au maïs-fourrage. Comparaison avec le foin.

COLÉOU (J.), 1970.



PREMIÈRE PARTIE

CARACTÉRISTIQUES BOTANIQUES ET CULTURALES

CARACTÈRES BOTANIQUES

Le maïs, Zea mays (L), est une graminée de la tribu des Maydées et de la sous-famille des Panicoïdées. C'est une plante annuelle, originaire de l'Amérique Centrale, exigeante en chaleur et en humidité.

L'appareil végétatif.

Le maïs est une grande et forte plante d'une hauteur de 1,50 m à 2 m, le système radiculaire est multirameux et plus ou moins superficiel suivant les variétés.

La tige est pleine, de section arrondie au début, puis s'incurvant progressivement et atteignant la forme d'un croissant au niveau de l'insertion de l'épi. Elle est formée d'une série de nœuds et d'entre-nœuds, très courts au voisinage du sol, des racines se développent couramment sur les premiers nœuds.

Les feuilles rubannées, à surface plane, alternes et engainantes à leur base, ont des nervures parallèles plus

ou moins visibles. A la limite du limbe et de la gaine existe une petite production verte denticulée en forme de languette : la ligule.

Comme toutes les graminées, le maïs forme de nombreuses talles mais elles présentent peu d'intérêt.

L'appareil reproducteur.

La plante est monoïque, les fleurs mâles forment une panicule terminale, les fleurs femelles un épi axillaire.

L'épi.

L'épi est entouré par des bractées : les spathes, d'un nombre variable : 7 à 20 suivant les variétés. Il apparaît cylindroconique et constitué de 8 à 20 rangées portant chacune 16 à 40 grains.

Ces graines s'insèrent sur une base spongieuse, la rafle constituée par de la cellulose pure. Dans les variétés actuelles, le rapport pondéral rafle sur grain est de l'ordre de 15 à 25 %.

Le grain.

Suivant les variétés, les caractères du grain sont éminemment variables du point de vue forme, couleur, dimension, aspect et texture. Les trois différentes parties se répartissent ainsi :

Enveloppe ou péricarpe : 5 à 8,5 %
Amande : 77,5 à 85 %
Embryon : 11 à 13 %.

Les stades végétatifs du maïs entre la floraison et la maturité.

Les différents stades de maturité sont très utiles à connaître afin de pouvoir en déduire la composition de la plante, les quantités de matière sèche produites à l'hectare, les pertes à la récolte et durant la conservation et ainsi déterminer, d'une façon plus efficace le stade optimum de la récolte.

Pour définir ces stades végétatifs, différents critères peuvent être utilisés :

— la teneur en matière sèche;
— les caractéristiques morphologiques;
— le nombre de jours écoulés depuis la floraison femelle.

Des expériences conduites au Centre de Recherches Agronomiques de Clermont-Ferrand ont permis d'établir le tableau suivant :

TABLEAU II

Correspondances entre les stades végétatifs du maïs et les teneurs en matière sèche de la plante entière et de l'épi complet

(Andrieu J., 1970.)

STADE VÉGÉTATIF	NOMBRE DE JOURS DEPUIS LA FLORAISON FEMELLE	TENEUR EN MATIÈRE SÈCHE (%)	
		Plante entière	Epi + spathes
Laiteux.	(24-31) 28	20-22	20-25
Laiteux-pâteux. . .	(33-40) 36	23-35	27-31
Pâteux.	(42-49) 46	26-28	33-37
Pâteux-vitreux. . .	(51-61) 56	29-32	39-45
Vitreux.	(63-69) 66	33-35	47-52

CARACTÈRES AGRONOMIQUES

Sols et façons culturales

Le maïs est une plante sarclée exigeante. Les meilleurs rendements sont obtenus dans les sols de bonne qualité, bien ameublis en profondeur, bien nivelés et non mottés.

La préparation du sol joue un rôle important mais ne doit intervenir que lorsque le sol est bien ressuyé. Un labour motteux et ouvert est nécessaire avant l'hiver pour favoriser la pénétration des racines et la mise en réserve des pluies. Les travaux de printemps peuvent jouer également un rôle important (labours, emploi du cultivateur...) pour obtenir une terre ameublie sur toute son épaisseur ne présentant ni zones tassées, ni semelles d'aucune espèce.

Assolement

La culture du maïs ne pose pas de problème pour l'assolement. Il se sème après toute culture et peut également se succéder à lui-même.

Fertilisation

On doit consacrer une attention toute particulière à la fumure organique et aux engrais minéraux; les quantités nécessaires en azote, phosphore et potassium sont variables suivant les possibilités de rendement et la teneur du sol en ces différents éléments.

Notons que depuis quelques années, il est possible de réaliser la fumure azotée en utilisant des formes liquides ou gazeuses, déposées à 15-20 cm de profondeur par une injecteuse, quatre semaines avant la floraison, c'est-à-dire juste avant la période de son utilisation par la plante.

Besoins en eau et irrigation

Il est très difficile d'évaluer les besoins en eau du maïs, il semble cependant que ceux-ci soient élevés et bien souvent insuffisamment couverts. Bien que coûteuse, l'irrigation devrait permettre l'obtention de rendements élevés et constants quels que soient les caprices du temps.

Désherbage

Le maïs est très sensible à la présence de plantes adventices jusqu'au moment où ayant atteint un développement suffisant il gêne lui-même celui des mauvaises herbes.

Les binages effectués à l'aide de la houe rotative et de la bineuse peuvent être d'une aide efficace dans la lutte contre les adventices indésirables mais on leur préfère de plus en plus les herbicides en raison de leur emploi facile et de leurs excellents résultats.

Les auxines ou phytohormones dont le produit le plus connu est le 2-4 D, sont souvent utilisées mais leur toxicité, la difficulté relative de leur emploi font préférer parfois l'utilisation d'autres substances plus efficaces et moins dangereuses : les triazines dont il existe actuellement deux dérivés très connus : l'atrazine et la simazine.

Citons également d'autres produits, mis au point plus récemment pour compléter l'action parfois insuffisante de ces herbicides sur certains sols : le métachlore, des huiles spéciales hautement raffinées, le paraquat, le linuron et l'amétryne.

Variétés de maïs

Les maïs-hybrides

Obtention.

La réalisation de combinaisons hybrides, résultat de magnifiques travaux des agronomes américains, a été à l'origine de la « révolution du maïs en France »; c'est ainsi qu'actuellement on ne cultive pratiquement plus les variétés traditionnelles du Sud-Ouest pour la plupart tardives.

En appliquant les lois de Mendel il est, en effet, possible d'obtenir, à partir de populations homogènes (ou lignées pures), des hybrides simples puis doubles.

L'obtention de ces hybrides, apparemment simple en théorie, nécessite un certain nombre d'opérations délicates réalisées sur une grande échelle par les agriculteurs, producteurs de semences, suivant des normes très strictes fixées par arrêté ministériel.

Intérêt.

Ces maïs-hybrides présentent, par rapport aux maïs indigènes, de gros avantages dus en grande partie au phénomène d'hétérosis et se traduisant par :

— des rendements supérieurs;
— une résistance plus grande à la sécheresse et aux maladies;
— une moindre sensibilité à la verse;
— un rapport entre la rafle et le grain réduit;
— une insertion des épis à une hauteur régulière;
— un registre de précocité tel que leur culture peut s'étendre à la majeure partie du territoire français;
— une valeur alimentaire supérieure.

Nomenclature.

La nomenclature du maïs a été officialisée lors d'une réunion internationale de la F.A.O. à Belgrade.

Pour chaque hybride un nom bref rappelle le pays d'origine, il est suivi de trois chiffres :

Le 1er indique le groupe de maturité.

Le 2e le rang de précocité à l'intérieur de ce groupe.

Le 3e en chiffre pair : hybride jaune,
en chiffre impair : hybride blanc.

Les différentes variétés sont inscrites au catalogue, les unes, dont les parents sont connus, sont dites à formule ouverte, les autres, dont l'origine est gardée secrète, à formule fermée.

Les semences de maïs

Réglementation - Production et Vente

Réglementation.

Tous les maïs destinés à la production des semences sont obligatoirement soumis à des examens prévus par la Commission Officielle de Contrôle des Semences de Maïs (arrêté du 22 juin 1950) après avoir été admis à figurer au Catalogue des Variétés.

Les dispositions précisant les modalités selon lesquelles seront jugées les variétés en instance d'inscription au Catalogue sont précisées dans les textes réglementaires ci-après :

Arrêté du 4 avril 1961 (*J. O.* du 21 avril 1961) modifié par les arrêtés du 26 mars 1963 (*J. O.* du 24 avril 1963), du 1er avril 1964 (*J.O.* du 16 avril 1964) et du 29 mars (*J. O.* du 11 avril 1967).

La production, le contrôle et la certification des semences de maïs sont réglementés par les arrêtés du 29 janvier 1965 (*J. O.* du 11 février 1965), du 29 avril 1964 modifié par les arrêtés du 22 mars 1965 et du 29 mars 1967 et l'arrêté du 28 mai 1966.

Production.

Organisation

Les Etablissements de Semences.

D'un nombre limité, ils sont agréés par le Ministère de l'Agriculture et prennent les initiatives des mises en terre en passant des contrats avec les agriculteurs multiplicateurs.

Les Organisations Professionnelles.

Des Syndicats et deux Fédérations groupent les organismes intéressés par la production des semences de maïs.

La Société des Semences de base assure la production des lignées pures ou des hybrides simples entrant dans la composition des variétés appartenant au domaine public (variétés à formule ouverte).

Système de production

La production des semences de maïs, telle qu'elle est définie dans le règlement technique (arrêté du 29 janvier 1965), repose sur le maintien des lignées pures auto-fécondées, sur la réalisation des combinaisons hybrides déclarées lors de la demande d'inscription au Catalogue et sur le maintien d'un bon état physique, physiologique et sanitaire.

Le maïs étant une plante allogame, les champs de production doivent être isolés de toute source de pollen

autre que celui du géniteur mâle choisi. On a ainsi été conduit à créer des zones réservées (arrêtés du 29 avril 1964, du 22 mars 1965 et du 29 mars 1967) à l'intérieur desquelles la culture de maïs-consommation est pratiquement interdite.

Conditionnement

Les semences sont récoltées en épis et livrées aux établissements qui ont passé les contrats.

Elles vont faire l'objet de vérifications et seront séchées, nettoyées, triées par calibre puis logées en emballage papier ou jute.

Contrôle

Le contrôle effectué en vue de la certification des semences de maïs porte sur chacun des éléments entrant en jeu : lignées pures, hybrides simples, hybrides commerciaux.

A chaque stade sont prévus :

— Pour les parcelles de multiplication (en ce qui concerne les lignées) ou de production (en ce qui concerne les hybrides), des contrôles pour vérifier les isolements, les castrations (dans le cas des hybrides simples ou des hybrides commerciaux), ainsi que la pureté génétique et,

— Pour les semences, des analyses en laboratoire et des contrôles a posteriori en terre permettant de juger la pureté génétique.

Vente.

Toutes les exigences ayant été satisfaites, des certificats de contrôle sont délivrés et placés dans les sacs, des plombs de garantie d'un type arrêté par la C.O.C. (1) sont apposés.

Si on utilise des sacs inviolables, le plomb n'est pas exigé et le certificat de garantie peut être imprimé sur le sac.

La vente directe du producteur à l'agriculteur est interdite, la totalité de la semence doit être livrée à l'organisme de commercialisation.

Choix de la variété

Le but recherché consiste à obtenir, courant septembre, un maïs dont les grains sont pratiquement mûrs, les spathes déjà décolorées, mais dont les tiges et les feuilles sont encore vertes afin d'avoir une teneur en matière sèche de l'ordre de 30 %. Aussi le choix de la variété sera, avant tout, fonction de la précocité.

Dans les régions où la culture du maïs-grain se pratique normalement, on sèmera pour l'ensilage des variétés de précocité comparables.

Dans l'Ouest, le Nord et le Nord-Est où la culture du maïs-grain n'est pas encore possible, compte tenu de la gamme de précocité des variétés actuelles commercialisées on ne cultivera que les plus précoces d'entre elles. Mais

(1) C.O.C. : Commission Officielle de Contrôle des semences de maïs.

dans un cas comme dans l'autre, on recherchera les variétés dont la productivité en grain est la meilleure, il faut avant tout récolter de la matière sèche de bonne qualité.

Les résultats d'un essai réalisé en 1967 dans le département du Nord (tableau III) indiquent clairement que la variété la meilleure n'est pas forcément celle qui produit la quantité de fourrage la plus élevée.

On note, en effet, entre les variétés des différences importantes et nettement sifinificatives de rendement en fourrage vert et en matière sèche qui varient pratiquement dans le même sens. Par ailleurs, on observe des différences non moins significatives de valeur alimentaire mais cette fois le classement des variétés s'effectue à l'inverse du précédent si bien que finalement toutes les variétés expérimentées ici ont une productivité en UF/ha comparable.

Les variétés tardives présentent moins d'intérêt bien que le tonnage de fourrage vert obtenu par hectare soit plus important car elles ont une teneur en eau beaucoup plus grande et ainsi contiennent moins d'éléments nutritifs.

Le semis

Mode et date

Le semis à la main ne se pratique plus qu'en petite culture familiale; il y a avantage à semer le maïs au moyen de semoirs de précision classique mais on peut

également employer le semoir à céréales à condition de prendre certaines précautions pour obtenir un écartement convenable.

L'écartement entre les rangs le plus couramment employé est d'environ 80 cm, il peut varier en fonction de la variété, du terrain et du mode de récolte.

Les semis s'effectuent généralement du 15 avril au 15 mai suivant les régions et les conditions climatiques; il faut, en effet, que la terre soit suffisamment réchauffée et que les gelées matinales ne soient plus à craindre pour obtenir une bonne germination. On peut parfois avoir intérêt, en particulier pour l'utilisation en vert, à échelonner les semis de 15 jours en 15 jours.

Densité de peuplement

La densité optimum est variable suivant la variété employée, la richesse du sol, les conditions météorologiques, l'humidité de la région.

Aussi est-il difficile de donner une règle générale; ce n'est que par l'observation des conditions locales que l'agriculteur sera amené à apprécier les qualités de ses terres.

Cependant, il semble préférable pour la culture du maïs-fourrage d'employer des doses supérieures à celles retenues pour le maïs-grain.

On les majorera d'environ 20 000 pieds par hectare pour les variétés précoces et de 10 000 pour les variétés tardives.

Les études américaines que nous avons pu consulter aboutissent à cette même conclusion ainsi que les recherches accomplies par l'A.G.P.M.

Les résultats qui figurent sur le tableau IV correspondent à la moyenne des 6 variétés du tableau III. On constate que la densité forte procure une augmentation significative du rendement en fourrage et se traduit finalement par un gain intéressant d'unités fourragères puisque, cette fois, la teneur en matière sèche et la valeur alimentaire du kilogramme de matière sèche n'ont pas varié.

Les chiffres indiqués dans cette étude correspondent à peu de chose près à ceux qu'il est possible d'obtenir en pratique.

Récolte

Date de récolte et rendement

L'importance de la récolte est variable suivant le stade de maturité. Des essais conduits par l'A.G.P.M. dans la région de Senlis durant tout l'été 1967 ont donné les résultats figurant dans le tableau ci-après et le graphique ci-contre.

TABLEAU III. — *Productivité et valeur alimentaire de quelques variétés de maïs précoces*

(CHESNEAU J.-C., 1967.)

	RENDEMENT EN T/HA DE FOURRAGE VERT	TENEUR DES PLANTES EN MS (en %)	RENDEMENT EN T/HA DE MS	VALEUR ALIMENT. DE LA MS (en UF/kg)	RENDEMENT (en UF/ha)	TENEUR MAD/UF (en g)
INRA 200.	60,5	24,1	14,5	0,85	12 500	57
DEKALB 204. .	62,7	25,0	15,7	0,81	12 800	57
ANJOU 210. . . .	58,6	25,7	15,1	0,86	13 000	53
INRA 244.	68,0	24,9	16,9	0,78	13 200	52
INRA 258.	59,6	25,3	15,1	0,83	12 500	53
INRA 190.	55,7	26,4	14,7	0,85	12 500	54

TABLEAU IV. — *Productivité et valeur alimentaire du maïs ensilage en fonction du peuplement*

(CHESNEAU J.-C., 1967.)

DENSITÉ EN PIEDS/HA	T/HA	MS %	T/HA DE MS	UF/KG DE MS	UF/HA	MAD (en g/UF)
80 000.	58,4	25,0	14,5	0,83	12 000	56
100 000.	63,4	25,5	16,1	0,83	13 500	54

TABLEAU V. — *Evolution de la matière sèche et de la valeur alimentaire du maïs-fourrage en fonction de la date de récolte*

(Chesneau J.-C., 1968.)

DATE DE RÉCOLTE	STADE DES PLANTES	T/HA DE MV (1)	MS % (2)	T/HA NE MS (3)	VALEUR FOURRAGÈRE (4) UF/kg MV	VALEUR FOURRAGÈRE (4) UF/kg MS	UF/HA (5)
11-7-67. .	Apparition des panicules dans les cornets. . . .	27,0	14,1	3,8	0,10	0,72	2 700
21-7-67. . .	Début floraison.	40,9	15,3	6,3	0,10	0,66	4 200
1-8-67. . .	Fin fécondation	47,5	18,7	8,9	0,14	0,75	6 600
11-8-67. . .	Début formation des grains. . . .	54,2	18,9	10,3	0,15	0,78	8 000
21-8-67. . .	Grains entièrement laiteux. .	54,7	23,2	12,7	0,20	0,84	10 700
31-8-67. . .	Début jaunissement des spathes. Grains pâteux.	50,0	28,7	14,3	0,25	0,88	12 600
11-9-67. . .	Spathes desséchées. Grains durs. Feuilles de la base desséchées.	46,0	35,8	16,5	0,32	0,89	14 600

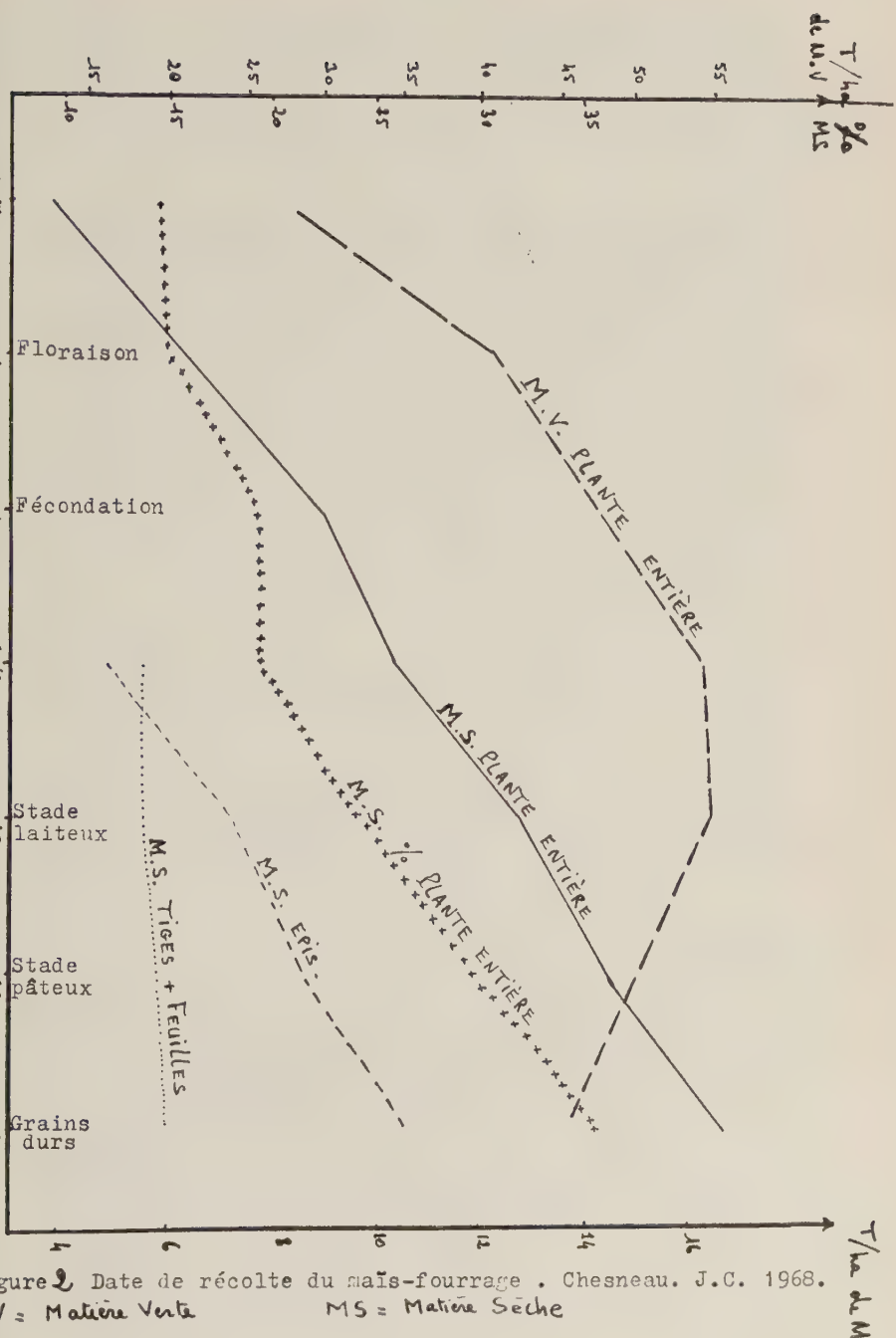


Figure 2 Date de récolte du maïs-fourrage . Chesneau. J.C. 1968.
MV = Matière Verte MS = Matière Sèche

Le rendement en fourrage vert augmente très rapidement au fur et à mesure de la croissance des plantes jusqu'à la formation des grains, il se stabilise ensuite pour décroître dès que les premières feuilles commencent à jaunir.

En fin de végétation, les épis renferment presque deux fois plus de matière sèche que les tiges et les feuilles réunies (tableau II). Comme la richesse de la matière sèche est nettement supérieure à celle qui est contenue dans le reste de la plante, c'est finalement plus de 75 % de la valeur alimentaire exprimée en unités fourragères qui se trouve concentrée dans l'épi à maturité.

Ces résultats nous montrent qu'il est préférable de ne pas récolter le maïs-fourrage avant que la plante entière ne contienne au moins 30 % de matière sèche.

Ce stade de maturité ne sera atteint que lorsque les spathes commencent à se dessécher et que les grains sont pratiquement durs, il est alors difficile de les écraser avec l'ongle.

D'autres facteurs interviennent également sur les rendements obtenus, ce sont principalement :

— les variétés employées (tableau III) ;
— les densités (tableau IV) ;
— les dates de semi (tableau VI) ;
— l'humidité du sol.

TABLEAU VI. — *Essai date de semis*
Maison de l'élevage du Finistère, 1967
Variété : INRA 200. Récolte le 29 septembre

DATE DE SEMIS	MV EN T/HA	MS EN T/HA	MS % PLANTE ENTIÈRE
12 avril.	47,3	15,9	31,9
21 avril.	50,0	15,0	28,7
5 mai.	52,9	13,9	24,7

Les variations de rendement sont grandes : de 8 à 16 tonnes de matière sèche par hectare et sont étroitement liées aux conditions de milieu et au degré de technicité des agriculteurs.

Dans des conditions équivalentes, seule la betterave est susceptible d'égaler les rendements du maïs-fourrage.

De plus, signalons qu'il présente une grande souplesse d'emploi, la date de sa récolte étant beaucoup moins déterminante que pour les autres plantes fourragères puisque, nous le verrons plus loin, sa digestibilité est pratiquement constante, seule la quantité de matière sèche évolue.

Matériel et récolte

Le maïs-fourrage consommé à l'état vert peut être ou pâturé par le bétail ou fauché par petites coupes successives et distribuées quotidiennement, il ne nécessite pas alors un matériel particulier.

Par contre, la récolte et le transport du maïs-fourrage destiné à être ensilé ou déshydraté exigent un matériel important, capable de traiter les 40 à 50 tonnes de matière verte par hectare avec un impératif de conditionnement qui est essentiellement un hachage fin et régulier.

Bien que connues depuis 1950 en Europe, les ramasseuses-hacheuses-chargeuses n'ont eu jusqu'à ces dernières années qu'un développement relativement lent avec des déviations vers des appareils plus simples (récolteuses à fléaux) qui conviennent peu au maïs.

Les ennemis du maïs

Aussitôt semé, le maïs va être en butte aux nombreuses agressions des parasites animaux et végétaux.

Les premiers ennemis du maïs surtout lorsque les cultures sont au voisinage des bois, sont les corbeaux et secondairement les pigeons, pies et geais. Citons, en outre, les attaques de nombreux insectes ou de leurs larves dont les plus connus sont : les pyrales, sésamies, mouches des semis, scutigérelles, blaniules mouchetés, taupins, tipules, courtillères, oscinies, vers gris et cirphis. Enfin les limaces et les mulots peuvent entraîner des dégâts très graves. Mais les pertes les plus importantes sont certainement causées par le parasitisme végétal. Parmi les mycoses les plus désastreuses rappelons l'action du charbon, de la fusariose et plus secondairement de la rouille, l'Anthracnose, la pourriture de la rafle et des helminthosporioses.

DEUXIÈME PARTIE

COMPOSITION CHIMIQUE ET VALEUR NUTRITIVE DU MAIS-FOURRAGE

Composition chimique analytique de la plante entière

Dans le tableau IX emprunté à Crampton et Harris (1969) sont rassemblés les résultats de nombreuses analyses faites en ce domaine, ils concordent avec ceux des diverses publications que nous avons pu consulter.

Teneur en glucides

Le maïs-fourrage se caractérise par sa richesse en glucides, propriété très intéressante qui lui confère une bonne valeur énergétique et facilite beaucoup son ensilage.

Les glucides solubles sont très inégalement répartis dans la plante (figure 3), ils se trouvent principalement dans la tige et les gaines où ils peuvent atteindre 25 % de la matière sèche. Rapportés à la plante entière, les glucides constituent entre 10 et 15 % de la matière sèche.

Teneur en lipides

La pauvreté du maïs-fourrage en lipides (teneur inférieure à 1 %, Morrison, 1959) est beaucoup plus nette pour la partie feuillue que pour les épis.

En effet, la teneur des tiges et feuilles de maïs en lipides est très faible (0,4 %, Morrison, 1959). Leur répartition est semblable grossièrement à celle des autres fourrages verts.

En ce qui concerne les catégories lipidiques brutes, ce sont les galactolipides qui sont les constituants essentiels (60 % au moins, Le Bars et Vaillant, 1966).

Les phospholipides sont quantitativement moins importants et l'existence des triglycérides est mise en doute à l'heure actuelle.

Du point de vue de la composition globale en acides gras, les acides insaturés comprennent de très fortes teneurs en acide linolénique (entre 50 et 70 % des acides gras totaux des chloroplastes).

Parmi les acides saturés, seul l'acide palmitique se trouve en quantité importante.

Par contre, le germe est particulièrement riche en lipides puisqu'il concentre la presque totalité de la matière grasse du grain, il contient 30 à 50 % de son poids en huile.

Une étude des lipides obtenus par extraction à partir de l'huile de germes de maïs a donné les résultats suivants (J. Cardin, 1966) :

— Phospholipides (lécithines et céphalines) : 1 %.
— Acides gras saturés : 7 %.

— Acides gras mono-insaturés : 35,5 %.
— Acides gras di-insaturés : 55 %.
— Stérols : 1 %.
— Phospholipides (lécithines et céphalines) : 1 %.
— Tocophérols.

L'huile de germe de maïs présente un indice d'iode élevé (125). J.-L. Martin, (1966) nous en donne la composition en acides gras :

— Acide palmitique : 6 %.
— Acide stéarique : 2 %.
— Acide arachidique : 1 %.
— Acide oléique : 37 %.
— Acide linoléique : 54 %.

Ce taux important en matière grasse explique la valeur énergétique de l'épi et pour certains auteurs l'ingestion de ces lipides à indice d'iode élevé pourrait se répercuter sur les graisses de réserve de l'animal.

En raison de cette déficience de la plante entière en lipides, Elder et ses collaborateurs se sont attachés, ces dernières années. à rechercher l'élaboration de variétés contenant une grande proportion d'huile. En utilisant un phénomène de résonance magnétique pour déterminer le contenu en huile de chaque grain de maïs sans le détruire, ils ont trouvé de grosses différences pour des grains adjacents dans le même rang.

En sélectionnant et en plantant seulement les grains présentant les pourcentages les plus élevés en huile, il a été possible de créer de nouveaux hybrides de maïs contenant plus de 15 % de lipides. On peut prédire avec confiance que les généticiens poursuivant leurs travaux. la composition des acides gras pourra être modifiée.

Teneur en protides

On peut considérer que la valeur azotée du maïs-fourrage est comparable à celle du maïs grain (J. Coléou, 1966).

En effet, quelque soit sa forme d'utilisation, il possède une faible teneur en matière azotée digestible (50 à 60 g par U.F.).

La figure 4 établie par R.R. Johnson et ses collaborateurs (1967) nous montre la distribution de l'azote selon ses différentes formes (protéique, soluble ou ammoniacale) dans la plante entière lors de sa récolte.

G. Fauconneau et R. Pion (1965) ont étudié la composition générale des acides aminés des protides du maïs-fourrage et l'ont comparée avec celle des acides aminés des micro-organismes du rumen (tableau VII). Ils en ont déduit que la composition en acides aminés indispensables des micro-organismes du rumen n'est pas meilleure que celle des protéines du maïs-fourrage sauf en ce qui concerne la lysine des protozoaires.

Aussi la transformation des feuilles et des tiges de maïs-fourrage en protéines microbiennes ne présente-t-elle que peu d'intérêt nutritionnel. Il serait donc intéressant de pouvoir agir sur les fermentations du rumen pour que ces protéines quittent la panse sans y subir de protéolyse et que les bactéries utilisent surtout l'azote non protéique comme source d'azote.

D'une manière générale on a l'habitude de diviser les protéines des céréales en :

— protéines solubles (albumines et globulines),

— protéines du gluten (prolamines et glutélines).

P. Feillet (1969) a groupé dans un tableau les résultats de plusieurs auteurs sur la composition en acides aminés des protéines solubles du grain de maïs (tableau VIII). Des chercheurs ont montré, d'autre part, la nature complexe de certaines protéines solubles et ont pu mettre en évidence, parmi celles-ci, la présence de glycoprotéines, nucléoprotéines et lipoprotéines.

Parmi les protéines du gluten, la molécule de zéine, protéine fondamentale du maïs, présente une faible teneur en lysine (J. Cardin, 1966), mais ce déséquilibre en amino-acides du grain ne présente guère d'intérêt chez le bovin adulte à cause du tampon bactérien du rumen.

Teneur en éléments minéraux

Calcium.

Le maïs-fourrage est pauvre en calcium (0,08 %) mais cette teneur varie beaucoup en fonction des caractéristiques du sol. Ainsi, sur une terre riche en calcium, le maïs-fourrage pourra avoir une bonne teneur en cet élément et être un peu plus riche que le foin; par contre, sur un sol pauvre il aura une teneur très faible.

De plus, des phytates présents dans la plante insolubilisent une partie du calcium susceptible d'être absorbé par l'animal augmentant ainsi la carence en cet élément.

Phosphore.

Le taux en phosphore est également faible et dépend des caractéristiques du sol et des engrais utilisés.

En moyenne, le maïs-fourrage a une teneur en phosphore comparable à celle du foin (en % de la matière sèche). De toutes façons, la plus grande partie du phosphore est contenue dans le grain alors que le reste de la plante en est pratiquement dépourvu.

En conclusion, il ressort de ces deux paragraphes que le maïs-fourrage employé seul ou avec du foin risque de provoquer des accidents phosphocalciques, il sera donc conseillé de lui ajouter un complément minéral approprié pour lutter contre les carences éventuelles.

Manganèse.

Le maïs-fourrage n'en contient que 19,8 mg/kg, taux qui pourrait prédisposer à certains accidents osseux et à l'infertilité chez les bovins.

Teneur en oligo-éléments

Les faibles teneurs du maïs-fourrage en certains oligo-éléments en particulier cuivre, zinc et cobalt, peuvent entraîner parfois l'apparition de symptômes de carence.

Teneur en vitamines (tableau XI)

Vitamine A.

Le maïs-fourrage a une forte teneur en vitamine A, même le maïs blanc, en raison de la quantité importante de carotène contenue dans les feuilles et les tiges, cependant, au fur et à mesure de sa maturité, cette teneur diminue progressivement.

Les feuilles vertes et les cimes contiennent une plus grande quantité de carotène que les tiges et les grains même pour les variétés jaunes. La couleur jaune de ces tissus est masquée par le vert de la chlorophylle.

Vitamine B.

Elle se trouve en quantité appréciable dans le maïs-fourrage.

Vitamine D.

A la différence de la plupart des autres fourrages verts, le maïs peut contenir de la vitamine D en proportion d'autant plus grande que le fauchage est plus tardif (Piccioni, 1965).

Vitamine E.

Notons ici la faible teneur du maïs en cet élément.

Vitamine PP.

Si le faible taux de tryptophane de la molécule de zéine entraîne habituellement une carence conditionnée en niacine, le maïs n'est pourtant pas dénué de vitamine PP puisqu'on en compte 25,5 mg par kg de matière sèche de grains (J. Moal, 1966).

TABLEAU VII

Composition en acides aminés des protides du maïs-fourrage (1) *et des micro-organismes du rumen*
(en g pour 16 g d'azote total)

(G. Fauconneau et R. Pion, 1965.)

	MAÏS-FOURRAGE	PROTOZOAIRES	BACTÉRIES
Acide aspartique. .	9,3	—	—
Thréonine.	4,7	—	—
Sérine.	4,5	4,6	4,4
Acide glutamique.	11,6	—	—
Proline.	4,95	—	—
Glycine.	5,5	—	—
Alanine.	6,8	—	—
Valine.	7,0	4,8	4,6
Méthionine.	2,0	2,0	2,1
Isoleucine.	5,4	6,1	5,0
Leucine.	9,6	6,9	5,9
Tyrosine.	3,9	4,8	3,9
Phénylalanine. . . .	5,9	5,0	4,1
Lysine.	5,9	9,4	7,0
Histidine.	2,3	1,7	1,3
Arginine.	6,1	3,7	3,5
Cystine.	0,9	1,45	1,05

(1) Matières azotées totales pour 100 g de matière sèche : 26,6 g.

TABLEAU VIII

Composition en acides aminés des protéines solubles du maïs
(exprimées en g d'acides aminés pour 16 g d'N total)

(P. Feillet, 1967.)

AC. AMINES	ALBUMINES		GLOBULINES
	Boundy, 1965	Moureaux et al. 1966	Moureaux et al. 1966
Glycocolle.	6,1	6,7	5,3
Alanine.	6,4	7,3	5,3
Valine.	5,5	6,0	6,1
Leucine.	5,8	5,8	6,3
Isoleucine.	3,4	3,6	3,3
Serine.	3,4	5,1	5,9
Thréonine.	3,8	5,1	3,2
Phénylalanine. . . .	3,5	3,4	5,4
Tyrosine.	2,3	3,6	3,3
Proline.	10,0	5,4	4,1
Cystine + Cystéine	1,4	4,3	1,7
Méthionine.	1,6	1,5	1,2
Ac. aspartique. . . .	12,5	9,3	7,6
Ac. glutamique. . .	14,1	11,5	15,6
Histidine.	2,9	2,6	3,5
Arginine.	7,8	7,8	11,9
Lysine.	5,9	6,2	5,2

TABLEAU IX. — *Composition chimique et valeur nutritive du maïs-fourrage vert* (Crampton (E.W.) et Harris (L.E.), 1969.)

Référence n° 2-02-806

		FOURRAGE VERT	EN % DE LA MATIÈRE SÈCHE
Matière séche.	%	30,6	100,0
Cendres.	%	1,7	5,7
Cellulose brute.	%	7,7	25,3
Extractif éthéré.	%	0,8	2,7
Extractif non azoté.	%	17,9	58,1
Protéines Nx 6,25.	%	2,5	8,2
Prot. digest. bovins.	%	1,2	3,8
Prot. digest. ovins.	%	1,5	4,8
Energie :			
Bovins.	E.D.KCal/kg	890	2 910
Ovins.	E.D.KCal/kg	917	2 998
Bovins.	E.M.KCal/kg	730	2 386
Ovins.	E.M.KCal/kg	752	2 458
Bovins, T.D.N.	%	20	66
Ovins, T.D.N.	%	21	68
U.F. (1).		0,24	0,78
Calcium	%	0,08	0,27
Chlore.	%	0,06	0,21
Fer.	%	—	0,10
Magnésium.	%	0,05	0,15
Phosphore.	%	0,07	0,22
Potassium.	%	0,39	1,26
Sodium.	%	0,01	0,04
Soufre.	%	0,05	0,17
Cobalt.	mg/kg	0,03	0,09
Cuivre.	mg/kg	1,6	5,3
Manganèse.	mg/kg	19,8	64,6
Carotène.	mg/kg	19,4	63,5
Manganèse.	U.I./kg	32,3	105,8

(*) Evaluation des UF. selon la formule de Breirem.

TABLEAU X

Composition chimique du maïs-fourrage vert
(MORRISON, 1959.)

FOURRAGE VERT	M.S.	PROTÉINES TOTALES (%)	MATIÈRES GRASSES (%)	CELLULOSE (%)	EXTRACTIF NON AZOTÉ (%)	MATIÈRES MINÉR. (%)	PROT. DIGEST. (%)
Maïs-fourrage denté, en floraison.	15,0	1,6	0,3	4,2	7,8	1,1	1,0
Maïs-fourrage denté, grain laiteux.	19,9	1,6	0,5	5,1	11,6	1,1	0,9
Maïs-fourrage denté, grain pâteux.	26,9	2,1	0,7	6,2	16,6	1,3	1,2
Maïs-fourrage denté, grains mûrs.	37,7	3,0	1,0	7,8	24,2	1,7	1,7
Maïs-fourrage denté frappé par la sécheresse.	26,4	2,6	0,4	6,8	15,0	1,6	1,5
Maïs-fourrage corné, en floraison.	11,6	1,5	0,3	3,3	5,5	1,0	0,9
Maïs-fourrage corné, grains laiteux.	17,0	1,6	0,3	4,2	9,8	1,1	0,9
Maïs-fourrage corné, grains pâteux.	24,7	2,2	0,8	5,1	15,3	1,3	1,3
Maïs-fourrage corné, grains mûrs.	41,2	3,5	1,3	8,1	26,2	2,1	2,0
Feuilles et cîmes de maïs.	15,9	1,9	0,6	4,4	7,8	1,2	1,2
Feuilles et tiges vertes après la récolte des grains.	22,7	1,3	0,4	6,0	13,6	1,4	0,5

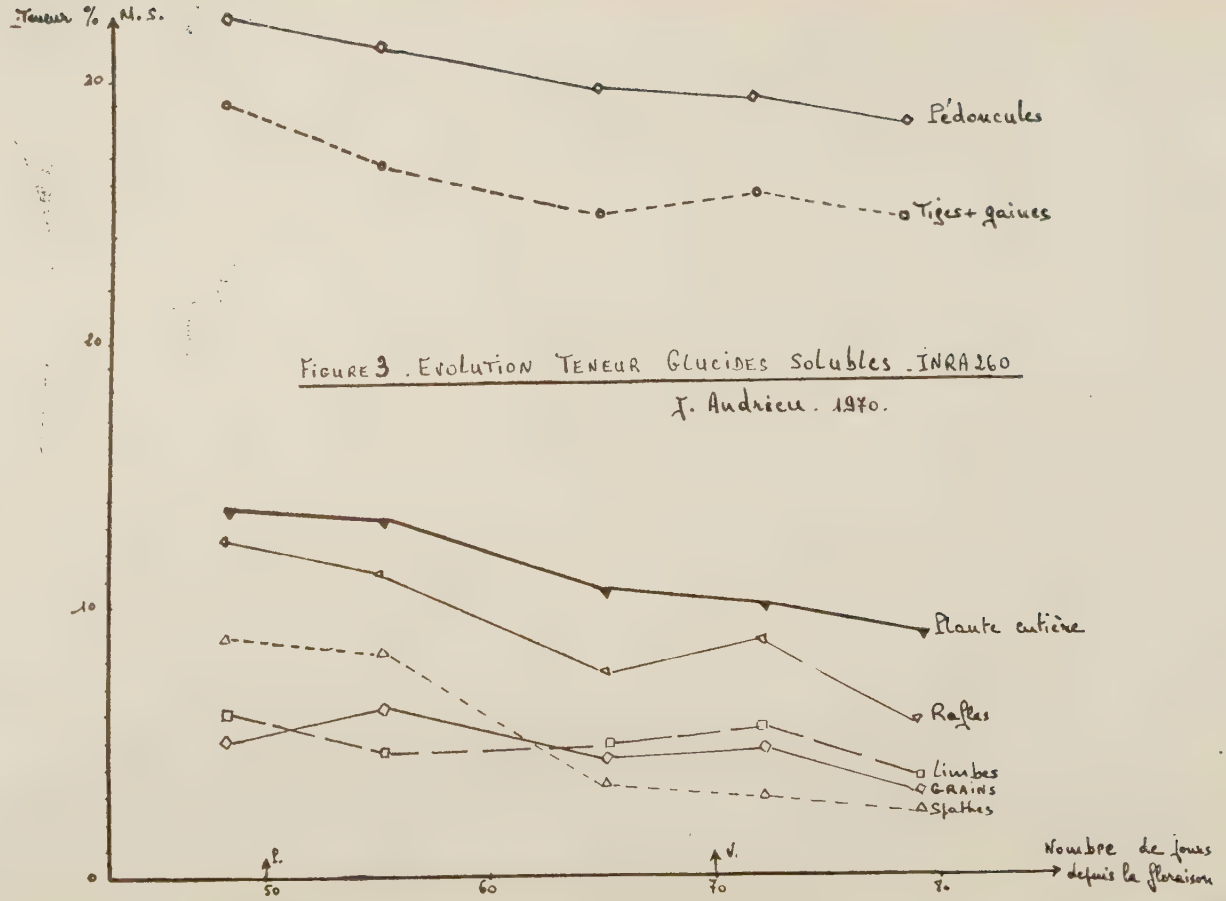


FIGURE 3 . EVOLUTION TENEUR GLUCIDES SOLUBLES . INRA 260

J. Andrieu . 1970.

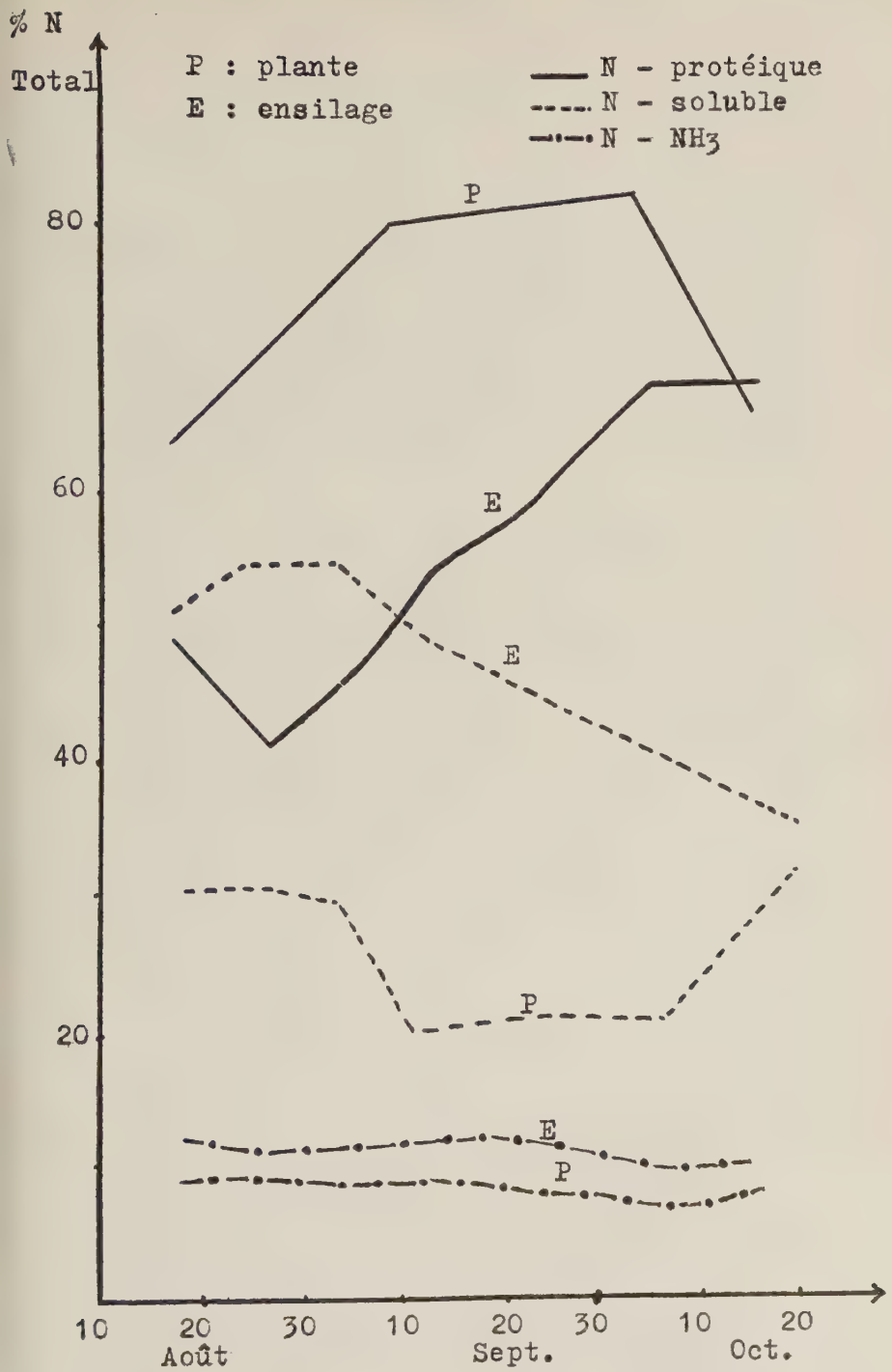


Fig. 4. — Répartition de l'azote
dans la plante entière et dans l'ensilage
R.R. Johnson et al., 1967.

TABLEAU XI. — *Teneur du grain de maïs en vitamines* (en mg/kg (1), (2)

(Moal J., 1966.)

	MOYENNE	MINIMUM	MAXIMUM
Carotène	4	0,22	13,20
Vit. A. (U.I.)	3 000 000	—	—
Vit. B_1	4,40	0,88	7,50
Vit. B_2	1,30	—	4,80
Vit. B_6	5,70	0,88	8,40
Vit. E	3,50	0,88	4,60
Vit. PP	25,50	2,20	94,20
Ac. folique	0,22	0,09	0,60
Ac. Pantothénique	7,00	2,20	39,80
Biotine	0,09	0,04	0,53
Choline	603	396	1 540

(1) Sauf pour la vitamine A.

(2) Par rapport à la matière sèche.

Les pigments

On en distingue deux sortes :

— les caroténoïdes provitaminiques qui comprennent
  — les carotènes (α, β, γ),
  — la cryptoxanthine qui est l'un des pigments fondamentaux du maïs jaune;
— les xantophylles non provitaminiques comprenant les zéaxanthines.

Variations de ces différents éléments

Nous allons observer des variations très importantes de la teneur en matière sèche, de la composition chimique et de la production énergétique du maïs-fourrage suivant ses différents stades de maturité ou lors de conditions climatiques défavorables.

Différents stades de maturité

— Evolution de la composition morphologique avec le stade végétatif de la plante.

La répartition de la matière sèche entre les différents constituants de la plante évolue jusqu'au stade vitreux puis reste pratiquement constante (figure 5).

Nous observons une diminution très importante du pourcentage de « tiges + gaines » et de limbes alors que la production de l'épi, avec ses spathes, augmente de façon importante en raison de la formation et du développement du grain; de l'ordre de 45 % au stade laiteux, il passe en gros à 58 % au stade pâteux pour devenir maximum au stade vitreux 65 %. Il convient de remarquer que le grain représente à lui seul 45 à 50 % de la matière sèche de la plante et 70 % à 75 % de la matière sèche de l'épi complet au stade vitreux.

— Evolution de la teneur en matière sèche de la plante et de ses principaux constituants.

Lors des différentes expérimentations réalisées, la teneur en matière sèche de la plante entière a augmenté avec le nombre de jours écoulés depuis la floraison

femelle. De même l'augmentation de la quantité de matière sèche de l'épi est pratiquement constante (tableau I). Or, la teneur en matière sèche des tiges subit peu de variation (elle est de 15 à 20 %) et celle des limbes n'augmente que très lentement jusqu'au stade vitreux (elle passe de 20 à 30 %) figure 6. La quantité de matière sèche totale des parties végétatives (tige + feuilles + pédoncule + rafle + spathes) étant pratiquement constante, on peut en déduire que l'augmentation de matière sèche totale est due à l'accroissement du grain.

Des études conduites par l'I.N.R.A. sur des hybrides INRA 270 (1965) et INRA 260 (1966) ont montré que quand la teneur en matière sèche de la plante entière atteint 30 %, le grain constitue 40 % de celle-ci pour une teneur en eau de 45 %. Le grain de ces hybrides était à un stade intermédiaire entre pâteux et vitreux. L'absence de relation entre l'état du grain et la teneur en matière sèche de la plante entière, la nécessité d'une étuve pour la détermination de cette dernière a conduit à proposer à l'étude comme index pratique le rapport :

$$\frac{\text{poids frais du grain}}{\text{poids frais de la plante entière}}$$

qui doit atteindre 22,5 % pour que la plante entière soit à 30 % de matière sèche.

Il convient cependant de remarquer que pour un âge donné, les teneurs en matière sèche de la plante et de l'épi ont été variables d'une année à l'autre. Par contre, le peuplement par hectare dans les limites où il a été étudié a peu modifié la vitesse de dessication de l'épi et de la plante entière. Au niveau de l'épi, la rafle qui

représente la majeure partie de la matière sèche de l'épi à la floraison, perd très lentement son eau et devient, à partir du stade vitreux, le principal obstacle au dessèchement rapide de l'épi.

— Evolution de la teneur en glucides solubles et en cellulose.

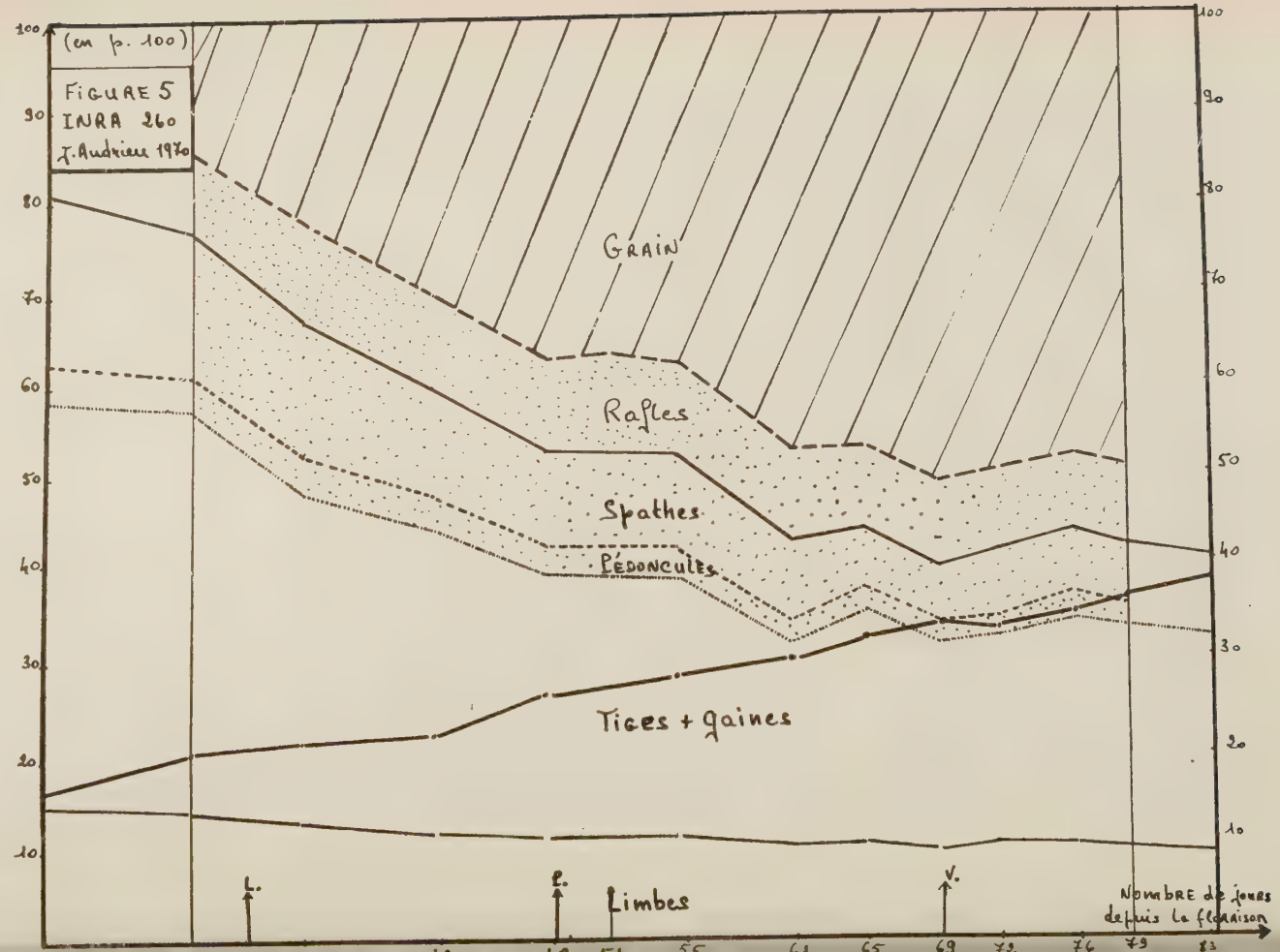
Les glucides solubles ont tendance à diminuer dans les différentes parties de la plante et au fur et à mesure de sa maturité (figure 3). On observe également une diminution de la teneur en cellulose de la plante entière en raison de l'augmentation de la proportion d'épis.

— Evolution des protéines solubles.

Les résultats de Zeleny (1935) et Tsurkan sont contradictoires.

Suivant le premier, les albumines et les globulines du maïs sont synthétisées à vitesse relativement constante, leur importance dans le grain restant voisin de 1,5 % d'azote total pour les albumines et de 7,5 % pour les globulines (tableau XII).

Selon le second, les protéines solubles se comportent comme celles des autres céréales, c'est-à-dire que leur teneur dans le grain diminue au cours de la maturation.


(en p. 100)
FIGURE 5
INRA 260
J. Audrieu 1970
GRAIN
Rafles
Spathes
Pédoncules
Tiges + gaines
Limbes
L.
P.
V.
Nombre de jours depuis la floraison

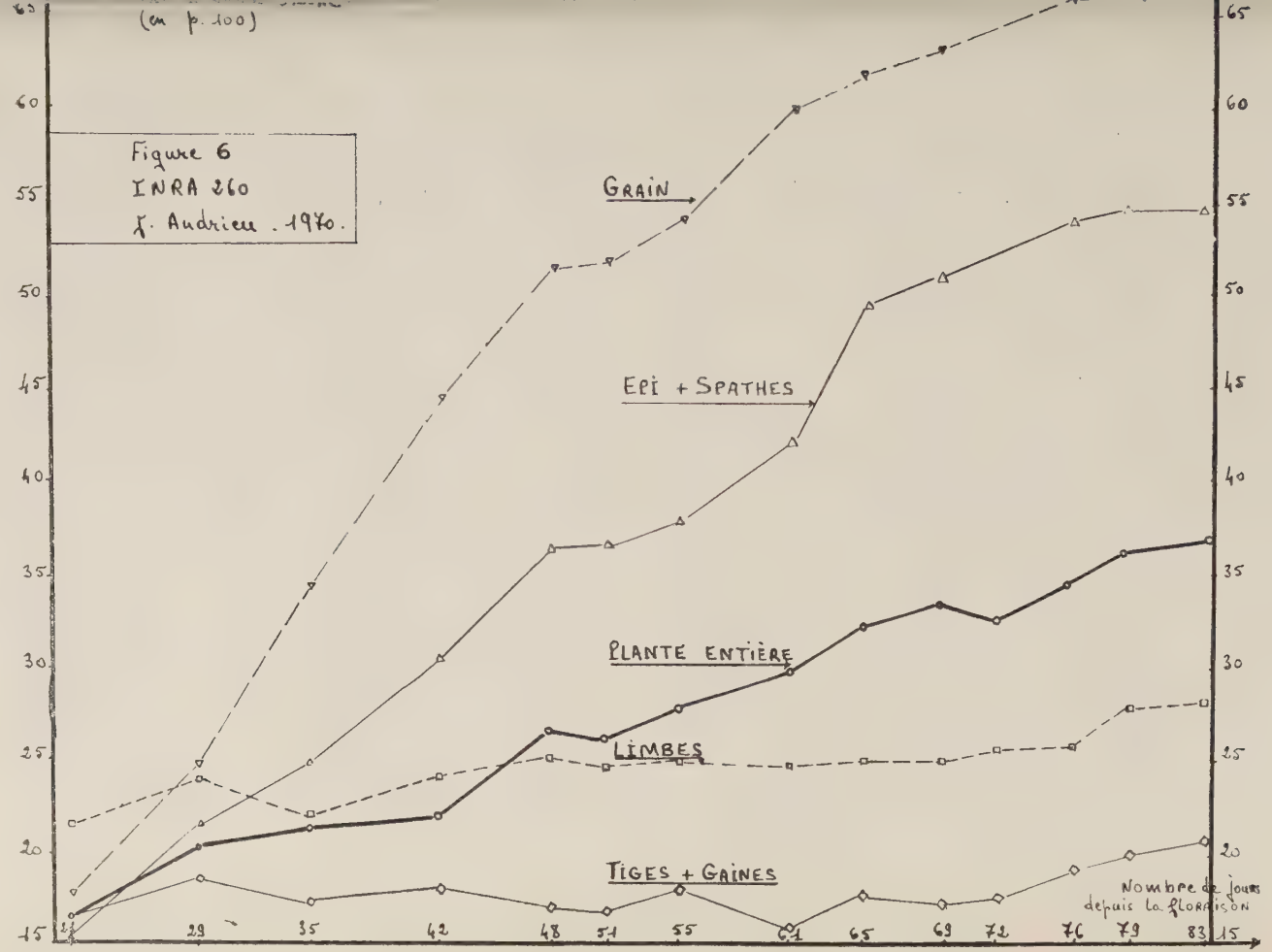

(en p. 100)
Figure 6
INRA 260
Y. Andrieu . 1970.
GRAIN
EPI + SPATHES
PLANTE ENTIÈRE
LIMBES
TIGES + GAINES
Nombre de jours depuis la floraison
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
22
29
35
42
48
51
55
61
65
69
72
76
79
83

TABLEAU XII

Evolution de la composition en albumines et globulines du grain de maïs au cours de la maturation
(en % de l'azote total)
(Zeleny, 1935.)

ETAT DU GRAIN	GLOBULINES	ALBUMINES
Très jeune.	7,71	1,47
Llaiteux.	6,58	2,23
Vitreux.	8,42	1,30
Mûr.	7,82	1,71

Jennings et Morton (1963) montrent que la composition en acides aminés des protéines solubles change durant la maturation.

Tsurkan (1962) pense, enfin, que les globulines du maïs se transforment en zéine et glutéline tandis que Ingle et al. (1965) considèrent les protéines solubles comme précurseurs de la zéine.

Sécheresse

Lors de sécheresse très importante, le fourrage contiendra un plus haut pourcentage de protéines que normalement mais la récolte en éléments digestibles sera plus faible (Morrison, 1959).

Valeur alimentaire du maïs-fourrage

La valeur alimentaire d'un fourrage dépend de deux facteurs :

— Sa valeur nutritive et plus particulièrement sa valeur énergétique dont le meilleur critère d'utilisation est le coefficient de digestibilité de la matière organique;

— Son acceptabilité ou quantité de matière sèche ingérée par l'animal à qui ce fourrage est offert.

Valeur nutritive

La valeur énergétique est généralement mesurée sur des animaux maintenus en cage à métabolisme, elle peut être calculée à partir des teneurs en matière organique digestible (M.O.D.) et indigestible (M.O.N.D.) du fourrage suivant la formule de Breirem :

$$\text{U.F./kg de matière sèche} = \frac{2{,}36\ \text{M.O.D.} - 1{,}20\ \text{M.O.N.D.}}{1\,650}$$

dans laquelle les teneurs en matière organique digestible et indigestible sont exprimées en g/kg de matière sèche.

La digestibilité de la matière organique de la plante entière de maïs est très constante pour un maïs donné mais varie parfois d'un maïs à un autre.

En 1969, au cours de différentes recherches sur la valeur alimentaire de la plante entière de variétés précoces et demi-précoces sur des moutons, J. Andrieu n'a noté que des différences de digestibilité faibles puisque le coefficient de digestibilité n'a varié que de 68,1 à 74,8 %. En moyenne, la digestibilité était de 73 %.

ce qui correspond à une valeur énergétique de 0,80 UF/kg de matière sèche.

Cette constance de la digestibilité de la plante entière est due au fait que l'augmentation de la part de l'épi dont la digestibilité est élevée et constante (83 % soit 1,0 UF/kg de matière sèche) compense la diminution de la digestibilité du reste de la plante qui diminue de 70 à 60 % environ (070 à 0,50 UF/kg de matière sèche). Ces résultats sont en accord avec ceux énoncés par Harris (1965), Noller et al. (1965), Morrison (1959), Hanson (1934) et Huber, Graf et Engel (1965).

Enfin, la digestibilité de la matière organique de la plante entière est indépendante de la teneur en cellulose brute.

La digestibilité de matières azotées dépend essentiellement de la teneur en matières azotées. Il en résulte que la teneur en matières azotées digestibles (M.A.D.) peut être estimée de façon précise à partir de la teneur en matières azotées totales (M.A.T.) de la plante :

$$M.A.D. = M.A.T. - 3,7$$

Exemple : si un maïs contient 8 % de matières azotées (par rapport à la matière sèche) sa teneur en matières azotées digestibles est de 8,0 — 3,7 = 4,3 % soit 43 g/kg de matière sèche.

Acceptabilité

Les nombreux travaux entrepris l'ont été sur des moutons. Certains ont montré que la quantité de matière sèche ingérée par les moutons est indépendante du stade de maturité. elle est de l'ordre de 1,94 kg/100 kg de poids vif.

En revanche, NOLLER et al. (1965) ont observé une augmentation des quantités ingérées avec le stade de maturité.

Rassasiement.

D'après KRUGER et ses élèves, la quantité d'aliment ingéré est fonction du poids spécifique de celui-ci. Il définit l'indice de satiété d'un aliment comme :

Indice de satiété = matière sèche × volume de la matière sèche × 10 + volume de l'eau contenue dans l'aliment.

Les résultats de ces travaux ont permis de dresser les tableaux suivants :

TABLEAU XIII

ALIMENT	MATIÈRE SÈCHE (g par kg)	POIDS SPÉCIFIQUE DE L'ALIMENT	INDICE DE SATIÉTÉ	POIDS EN KG DE L'ALIMENT CORRESPONDANT A UN INDICE DE 100
Fourrage vert de légumineuses . . .	167	1,017	1,08	92,3
Maïs-fourrage. . . .	131	0,996	1,11	89,8
Luzerne 1re coupe.	168	0,875	1,35	74,0
Herbe de prairie. .	170	0,868	1,43	70,0
Ensilage de maïs. .	152	1,053	1,00	100,0
Foin de pré.	888	0,994	8,08	12,4

TABLEAU XIV

Indices de satiété correspondant aux rations journalières

FOURRAGE	MATIÈRE SÈCHE MAXIM. INGÉRÉE EN KG	INDICE MAXIMUM DE SATIÉTÉ
Maïs-fourrage.	9,5	86,4
Foin de pré et de légumineuses.	9,1	76,7

TABLEAU XV. — *Rapidité d'ingestion des aliments pour un animal à jeun au début des essais*

ALIMENT	NOMBRE D'INDICES MAXIMUM CONSOMMÉS PAR JOUR	FRACTION D'INDICE INGÉRÉ EN UNE MINUTE	DURÉE EN MINUTES DE LA CONSOMMATION D'UN KG DE M.S.
Maïs-fourrage.	86,4	0,370	24
Foin de pré ou de légumineuses.	76,7	0,391	25

En pratique, le maïs-fourrage présente une bonne acceptabilité de la part des bovins, une quantité de 30 kg et plus de fourrage vert peut leur être administrée (Piccioni, 1965).

Evolution de la production d'unités fourragères

Le rendement en U.F. par ha et par kg de matière verte ou sèche augmente au fur et à mesure de la maturité (tableau V).

Conclusion - Le maïs-fourrage est un aliment hautement énergétique mais très déséquilibré. Sa teneur en M.A.D./U.F. évolue entre 57 et 67 g, or un jeune bovin exige dans sa ration une teneur de 100 à 110 g de M.A.D./U.F. (J. Marchadier, 1969).

Cette carence devra être corrigée par une supplémentation azotée importante qui fera l'objet d'un chapitre ultérieur.

TROISIÈME PARTIE

FORMES D'UTILISATION DU MAIS-FOURRAGE

Le maïs-fourrage vert

Le maïs-fourrage présente un intérêt comme fourrage vert en raison de son appétence, de sa production élevée en éléments nutritifs et du fait qu'il est utilisable pour l'alimentation des bovins à une période où la production des autres fourrages subit une baisse importante.

C'est pour cette raison que le maïs-fourrage a été le plus couramment employé comme fourrage vert d'appoint.

Initialement, on estimait que la grosse masse végétale obtenue avec un semis très dense, souvent effectué tard en saison, permettait de pallier la baisse de production des prairies permanentes en fin d'été. Or, nous savons qu'à cette date, le maïs-fourrage n'est pas encore arrivé à un stade de maturité suffisante et qu'il ne possède qu'une piètre valeur alimentaire. Il est d'ailleurs possible maintenant, à l'aide d'un plan fourrager bien étudié, de nourrir les bovins à cette période de l'année d'une façon plus rationnelle. Il s'ensuit que l'utilisation du maïs en tant que fourrage vert d'appoint est actuellement en nette régression.

Si toutefois le maïs est inclus dans un programme fourrager d'été, il est nécessaire de le semer le plus tôt possible (fin avril-début mai et de choisir, quelque soit la région, une variété très précoce afin d'obtenir, en fin d'été, une production de matière sèche de qualité en quantité acceptable.

Le maïs-fourrage pourra être pâturé par le bétail ou bien distribué à l'étable. Dans ce second cas, il sera préférable de le hacher avant de le donner aux animaux pour éviter le gaspillage, il présente ainsi une valeur alimentaire supérieure.

Le bétail mange de préférence les épis, puis la plupart des feuilles et enfin quelques tiges. Il s'ensuit des pertes beaucoup plus importantes que lors de l'utilisation sous forme d'ensilage; les plus grosses tiges ne sont pas consommées et les pertes en grains sont toujours grandes.

Le maïs-fourrage vert est un aliment excellent pour les bêtes à l'engrais surtout dans la première période d'engraissement. Cependant, en raison de sa teneur très faible en protéines, il est préférable, lorsqu'il est employé comme aliment de base, de le compléter par des quantités limitées de légumineuses (fourrage vert ou foin) ou d'aliments concentrés riches en protides comme par exemple les tourteaux.

Ces précautions prises, on pourra également le faire consommer par les vaches laitières même en grande quantité (30 kg et plus). Cette nourriture a même l'avantage de favoriser la sécrétion lactée.

Une nouvelle méthode d'utilisation du maïs-fourrage a été expérimentée par C. Schoutteten (1965) au lycée de Chatillon-sur-Seine, elle consiste à laisser sur pied le maïs pendant l'hiver et à le récolter au jour le jour

pour les besoins quotidiens des animaux. D'après cet auteur, le maïs-fourrage ne gèle pas et garde toute sa valeur nutritive durant la mauvaise saison.

Les seules conditions à cette méthode consisteraient en l'obtention d'une maturité suffisante du maïs-fourrage avant les premières gelées et la possibilité de la récolte mécanique durant l'hiver.

Les avantages de cette technique sur l'ensilage seraient principalement :

— La suppression de la pointe de travail lors de l'ensilage;

— Prix de revient nettement inférieur surtout pour la conservation de l'ensilage (silos) ;

— Utilisation du maïs laissé sur pied par les bovins sans aucune restriction;

— Possibilité d'établir une ration de base pour vaches laitières sans utilisation de foin.

Cependant, il convient de demeurer très réservé quant à l'intérêt et la généralisation de cette méthode dans les régions où elle est possible car nous manquons d'autres expérimentations sérieuses.

Il semblerait, en effet, que les pertes en matière nutritive pourraient être plus importantes en raison des dégâts causés par les intempéries et les oiseaux prédateurs.

Nous pouvons conclure en rappelant l'intérêt du maïs-fourrage vert pour les bovins; cependant, les pertes en substances nutritives lors de sa consommation, la difficulté de le faire consommer sous cette forme au meilleur stade de maturité, sa conservation très facile par ensilage, font qu'il est de plus en plus abandonné au profit de son ensilage.

Emploi des cimes, feuilles et tiges de maïs comme affourragement après récolte des grains

Dans le cas de culture de maïs-grain, il reste sur le champ, après la récolte de l'épi, la plante feuillue arrivée à maturité qui va se dessécher lentement et il va s'ensuivre une perte importante en éléments nutritifs. A partir de cette plante dépourvue d'épis, plusieurs méthodes de récolte vont pouvoir être employées.

Les tiges et feuilles de maïs

Une part importante d'éléments nutritifs demeure dans les tiges et les feuilles qui restent sur le champ (environ 1/3 de la matière sèche de la récolte).

Dans les fermes où on pratique l'élevage, on pourra faire consommer ce fourrage par le bétail :

— Le plus souvent, les animaux sont mis à pâturer dans les champs récemment récoltés afin d'y ingérer les parties feuillues et les grains oubliés; une valeur nutritive considérable peut ainsi être sauvée;

— Les tiges et feuilles pourront également être fauchées comme pour le maïs-fourrage et être distribuées ainsi ou après ensilage au bétail; dans ces deux cas il sera toujours préférable de les hacher avant de les distribuer.

La composition chimique d'un tel fourrage est donnée par le tableau de Morrison F.B., 1959. Son ensilage pourra avoir un taux de matière sèche variable de 20

à 30 % apportant environ de 0,50 à 0,60 U.F./kg de matière sèche avec 50 à 60 g de M.A.D./U.F. (tableau XXIV).

Les tiges et les feuilles de maïs pourront être distribuées seules pour l'alimentation de bêtes à l'entretien n'ayant pas de besoin énergétique très important pendant l'hiver.

Cependant, des travaux américains conduits sur l'utilisation des tiges et feuilles de maïs ensilées ont montré qu'elles pouvaient également être utilisées pour la croissance de femelles gestantes et de génisses.

Une étude menée par Albert Cox et Hatfield (1966) sur des vaches à l'entretien de 475 kg a donné les résultats suivants :

— Consommation d'ensilage de tiges + feuilles : 5.5 à 6 kg de M.S./j;
— Consommation de concentré azoté: 1 à 1,5 kg de M.S./j;
— Gain de poids moyen : 90 à 100g/j.

Par ailleurs, certains auteurs américains ont conduit un essai sur des génisses de 330 kg où la consommation journalière de 16 à 17 kg d'ensilage de tiges et feuilles à 28 % de matière sèche complémentée par des quantités de 0,5 à 1,8 kg de concentré azoté a autorisé des croîts moyen de 250 à 500 g par jour.

A partir de ces quelques données, il apparaîtrait possible d'entretenir 5 à 6 génisses par hectare de tiges et feuilles de maïs récupérées sans complémentation importante ou concentrés.

Il demeure donc certain que si cette méthode ne procure pas un fourrage de grande valeur nutritive, elle permet tout de même de récupérer un grand nombre

d'éléments nutritifs condamnés sans cela à rester sur le champ. Elle peut enfin rendre de grands services pour remplacer le foin si celui-ci se trouve en quantité insuffisante.

Les cimes et feuilles de maïs

Quand les épis sont formés et à un stade de maturité suffisant, certains agriculteurs pratiquent l'écimage de la plante et un peu plus tard l'effeuillage partiel, ce qui leur procure un fourrage vert possédant une certaine valeur nutritive.

Les avis sont assez discordants sur l'intérêt d'une telle pratique.

Il n'est pas douteux que si ces deux opérations sont effectuées trop tôt, alors que les épis sont à peine formés et que les grains sont encore laiteux, elles sont préjudiciables à la production du grain et ainsi au rendement, mais si elles sont effectuées suffisamment tard, l'influence sur le rendement est à peu près nulle et on récolte une quantité assez importante de bon fourrage vert.

Cueillies à temps, les feuilles et les cimes de maïs présentent une composition chimique et des caractéristiques nutritives intéressantes. Elles sont relativement pauvres en protéines (1,9 %) mais ont une valeur nutritive comparable à celle d'une bonne herbe de pré permanent : environ 12 à 14 U.F. pour 100 kg, leur taux d'humidité est d'environ 84 % et leur relation nutritive 1/7,7 (Morrison, 1959).

Les cimes et les feuilles de maïs seront distribuées de préférence hachées et mélangées à de l'herbe et du foin de légumineuses ou encore à un concentré riche en protéines.

On pourra tirer avantage de cette méthode pendant les années de sécheresse, lorsque le foin fait défaut.

Cependant, nous ne croyons pas beaucoup à l'intérêt de cette méthode à une époque où la main-d'œuvre devient de plus en plus chère et où les agriculteurs recherchent de plus en plus une mécanisation de leurs ateliers de production.

Les tiges de maïs

Après la récolte manuelle des cimes et des feuilles de maïs, il ne reste plus sur le champ que les tiges, celles-ci coupées à la base et rassemblées en bottes sont employées comme litière après un hachage sommaire.

Il semble que ce soit bien leur meilleure utilisation en raison de leur dureté et de leur faible valeur nutritive. En cas de disette, on peut, cependant, les employer dans l'alimentation des bovins telles quelles ou après ensilage avec d'autres fourrages plus aqueux. Dans les deux cas, elles sont défibrées et hachées pour en faciliter la préhension et la mastication.

On estime que les tiges ont une valeur nutritive comprise entre 24 et 28 U.F. pour 100 kg, c'est-à-dire un peu plus que la paille.

La relation nutritive assez large s'avoisine de 1/25. Nous n'insisterons pas sur leur emploi éventuel en alimentation du bétail car il ne devra intervenir qu'en cas d'extrême nécessité.

La paille de maïs

Après la récolte des épis, on dispose d'une masse importante de paille de maïs qui convient peu pour les litières mais qui peut être parfois employée avantageusement dans l'alimentation des bovins. Sa composition chimique et sa valeur nutritive sont données dans le tableau de E.W. Crampton et L.E. Harris, 1969 (tableau XVI). Pour bien l'utiliser comme fourrage, il faut la hacher ou mieux la défibrer et la mélanger ensuite à du fourrage vert ou du foin de légumineuses ou encore l'employer en buvée ou soupe.

Là, encore, la paille de maïs ne sera employée que très exceptionnellement dans l'alimentation des bovins.

TABLEAU XVI. — *Composition chimique et valeur nutritive du maïs-fourrage séché à l'air libre*
(Crampton (E.W.) et Harris (L.E.), 1969.)

		PLANTE ENTIÈRE (1)	PAILLE DE MAÏS (2)	RAFLE BROYÉE (3)	SPATHES (4)
Matière sèche	%	82,4	78,5	90,4	88,9
Cendres	%	5,5	5,3	1,5	2,7
Cellulose brute	%	21,3	26,8	32,4	30,7
Extractif éthéré	%	2,0	1,3	0,5	0,7
Extractif non azoté	%	46,2	40,0	53,5	51,7
Protéines N x 6,25	%	7,3	5,0	2,5	3,1
Prot. digest. bovins	%	3,4	2,0	0,0	0,9
Prot. digest. ovins	%	4,2	1,6	0,6	0,4
Energie :					
Bovins. E.D.KCal/kg		2 362	2 007	1 873	2 862
Ovins. E.D.KCal/kg		2 325	1 904	1 953	2 352
Bovins. E.M.KCal/kg		1 936	1 647	1 536	2 347
Ovins. E.M.KCal/kg		1907	1 560	1 601	1 929
Bovins. E.Nm*KCal/kg		1 190	860	958	—
Bovins. E.Ng*KCal/kg		507	309	226	—
Bovins T.D.N.	%	54	46	42	65
Ovins T.D.N.	%	53	43	44	53
U.F./kg frais (*)		0,62	0,26	0,30	0,32
U.F./kg M.S. (*)	%	0,75	0,33	0,33	0,36
Calcium	%	0,41	0,38	0,11	—
Chlore	%	0,16	0,24	—	—
Fer	%	0,01	0,02	0,21	—
Magnésium	%	0,24	0,24	0,06	—
Phosphore	%	0,21	0,07	0,04	—
Potassium	%	0,77	0,72	0,76	—
Sodium	%	0,02	0,05	—	—
Soufre	%	0,12	0,13	0,42	—
Cobalt	mg/kg	—	—	0,12	—
Cuivre	mg/kg	4,0	3,8	6,6	—
Manganèse	mg/kg	56,1	1 19,2	5,6	—
Carotène	mg/kg	3,6	3,1	0,6	0,6
Vitamine A	U.I./kg	6,0	5,2	1,0	1,0

(1) Référence : n° 1-02-775
(2) » n° 1-02-778
(3) » n° 1-02-782
(4) » n° 1-02-786
E.Nm : Energie nette pour l'entretien.
E.Ng : Energie nette pour la croissance et l'engraissement.
* Evaluation des Unités Fourragères suivant la formule de Breirem.

Le maïs-fourrage ensilé

La facilité incontestable avec laquelle le maïs-fourrage peut se conserver par ensilage en fait « la plante à ensiler par excellence » (Piccioni, 1965).

Aux U.S.A., cette méthode de conservation du maïs-fourrage a révolutionné l'alimentation de la vache laitière et du bovin de boucherie car son utilisation a permis de diminuer considérablement le prix de revient du lait et de la viande.

L'ensilage de maïs constitue actuellement plus de 90 % des ensilages réalisés annuellement dans le monde, le plus souvent c'est la plante entière qui est ensilée, mais on voit se développer maintenant l'ensilage de la seule panouille broyée et même du grain entier ou moulu.

Technologie de l'ensilage

La récolte.

Nous devons poser comme principe de base que plus la valeur d'un ensilage en matière sèche est élevée, meilleure est sa qualité. Comme nous l'avons déjà vu, il convient de récolter le maïs-fourrage quand sa teneur en matière sèche est voisine de 30 %, c'est-à-dire à la fin du stade pâteux.

Ensilé trop tard, il sera trop mûr pour produire un ensilage savoureux et nutritif et il pourra, même parfois, être nécessaire de lui ajouter de l'eau au moment du remplissage du silo.

Ensilé trop tôt, nous aurons un ensilage mal conservé et moins nourrissant car trop riche en eau.

Les variétés tardives fournissent un moins bon ensilage que les précoces; en outre, pour une même quantité de matière sèche le coût de la récolte et de l'ensilage sera plus élevé et le volume de silos nécessaire plus grand.

Le conditionnement du maïs-fourrage.

Il est nécessaire de veiller tout spécialement à ce que les plantes soient très finement hachées afin d'obtenir un fourrage pratiquement homogène dont les animaux ne pourront pas trier les meilleurs constituants, fourrage qui se tassera très bien même dans les plus rudimentaires et qui sera repris sans difficulté lors de l'affourragement.

Lors du remplissage du silo il faudra tasser le fourrage avec soins surtout près des parois, tout en le laissant plus haut à la périphérie, car le frottement des murs retarde la descente.

Enfin, le remplissage d'un silo doit se faire de façon continue. Un arrêt de quarante-huit heures suffit aux moisissures pour se développer et gâter toute la récolte. Toutefois, un arrêt de vingt-quatre heures ne tire pas à conséquence et certains préconisent même l'utilisation de deux silos que l'on charge alternativement un jour chacun, de façon à obtenir un tassement plus parfait.

L'ensilage proprement dit.

Méthodes d'ensilage

L'ensilage du maïs-fourrage pose moins de problème que celui des autres fourrages en raison de sa forte teneur en glucides solubles qui permet de le réussir assez régulièrement.

Aussi sera-t-il dans la majorité des cas ensilé sans qu'il soit nécessaire d'ajouter des acides ou des substances bactériostatiques afin de mieux contrôler les fermentations.

— *L'ensilage spontané à chaud.*

Cette méthode est basée sur le fait que la température doit s'élever rapidement aux environs de 50°C mais ne doit pas dépasser 85°C afin de permettre à la fermentation lactique de se développer.

Le tassement, l'humidité et le stade de maturité de la récolte joueront un rôle important dans l'obtention d'un bon ensilage. Cette température élevée responsable d'un gaspillage de glucides et d'une diminution de la digestibilité est souvent abandonnée maintenant au profit de l'ensilage spontané à froid où la température ne dépasse pas une trentaine de degrés grâce à un tassement plus énergique.

— *L'ensilage aux acides.*

Ensilage A.I. Virtanen.

Cette méthode, mise au point par A.I. Virtanen, évite la déperdition des glucides en empêchant leur oxydation

car aux doses utilisées l'acide tue la cellule végétale et entraîne un pH très bas nuisible aux ferments acétiques et butyriques.

Acide formique.

Il agit essentiellement comme bactériostatique vis-à-vis des ferments acétiques et butyriques, permettant ainsi un meilleur développement des ferments lactiques.

— *Les substances bactériostatiques.*

Ces substances parmi lesquelles le bromo-acétate d'éthyl-glycol est le plus connu, ne sont pratiquement pas employées pour l'ensilage du maïs-fourrage.

Le bisulfite de sodium (tableau XVII).

A la dose de 0,4 % il a un effet inhibiteur extrêmement marqué sur les fermentations lactiques et acétiques.

Les pH des ensilages traités sont nettement supérieurs.

TABLEAU XVII. — *Effet du bisulfite de sodium*
(J.C. Meiske et al., 1965.)

	ESSAI	MINNHYBRID 612		HS 50	
		Témoin	Sulfite	TÉMOIN	Sulfite
Matière sèche..	1961	31,4	30,6	27,3	25,0
	1962	26,5	26,6	20,0	19,0
pH.	1961	3,8	4,10	3,55	4,15
	1962	3,85	4,80	3,50	4,35
Ac. lactique (*)	1961	7,71	3,80	10,44	3,15
	1962	6,36	1,85	8,98	1,89
Ac. acétique (*)	1961	1,13	0,41	2,11	0,58
	1962	1,89	0,64	2,51	0,89

(*) En % de la matière sèche.
Bisulfite : 0,4 % du poids frais.

— *Une variante de l'ensilage : le haylage.*

Bien qu'elle soit toujours beaucoup employée aux U.S.A., la méthode classique de l'ensilage de la plante entière semble être en régression devant une nouvelle forme de récolte intermédiaire entre le grain sec et l'ensilage : le haylage.

Le haylage est un ensilage à haute teneur en matière sèche, conservé en silos étanches.

Une variante de cette méthode consiste à n'introduire dans le silo que le grain, Ceci présente l'avantage d'obtenir un produit ne contenant que 30 % d'humidité environ au lieu d'un ensilage qui ne dépassait guère 30 à 35 % de matière sèche.

Dans certains cas, le reste de la plante desséchée peut être utilisée comme litière là où l'on ne récolte plus de paille des autres céréales fourragères.

La microflore des ensilages de maïs

Ces ensilages se caractérisent par un développement extrêmement rapide (24 heures) d'une microflore lactique où domine très nettement l'espèce hétérofermentaire *Lactobacillus brevis.*

La microflore Gram négative est le plus souvent inexistante.

La microflore anaérobie sporulée (clostridium) ne dépasse pas le plus souvent 10^3/g de matière sèche mais peut atteindre 10^5. Aucune de ces espèces ne fermente l'amidon.

Les ensilages de maïs renferment très fréquemment des levures en grand nombre (10^5-10^8/g de M.S.) ; elles peuvent se développer en utilisant l'acide lactique et elles sont à l'origine des concentrations parfois importantes d'alcool que l'on trouve dans ces ensilages.

Les moisissures ne se développent qu'en présence d'oxygène ; elles ne sont pas gênées par les faibles pH et utilisent les acides organiques (lactiques) comme source énergétique. Elles peuvent se multiplier au moment du remplissage, en particulier au cours des interruptions de chantier (mauvais temps, nuit). Les spores restent intactes dans l'ensilage et la multiplication végétative reprend dès l'ouverture du silo.

Le métabolisme fermentaire

Nous avons vu que les glucides représentaient entre 10 et 15 % de la matière sèche de la plante entière. Une pareille concentration devrait permettre d'atteindre des taux très importants d'acide lactique. En fait, ceux-ci ne dépassent pas et sont même le plus souvent inférieurs à ceux que l'on peut trouver dans des ensilages de bonne qualité à base de ray-grass, voire même de luzerne (tableau XVIII)). Malgré ces concentrations relativement faibles en acide lactique, les pH baissent très rapidement aux environs de 4. La raison essentielle est liée à ce que le maïs est pauvre en « substances tampons » dont les plus importantes sont les protéines et les matières minérales (tableau XVIII).

De plus, un pH de 4 inhibe la croissance bactérienne et ne permet pas à la totalité des glucides solubles d'être fermentée.

Ce phénomène s'observe très nettement en ajoutant à l'ensilage des produits neutralisants comme le carbonate de calcium. Par contre, le traitement avec la chaux et l'urée augmente la teneur en acide lactique des ensilages (Klosterman et al., 1961; Johnson et al., 1967).

TABLEAU XVIII

	MAÏS (plante entière)		MAÏS (épis)		LUZERNE		RAY-GRASS	
Matière sèche.	21,4	33	41,2	51,8	23,6	32,0	20,8	32,7
pH.	3,88	5,2	4,38	4,69	4,69	4,57	4,06	4,50
Ac. lactique (*)	7,4	4,34	1,26	2,04	8,17	6,56	9,10	5,46
N. total (*) . . .	1,47	1,26	1,36	1,32	3,66	2,83	2,39	2,61
Matre min. (*).	8,6	3,38	1,93	1,35	8,65	8,8	9,1	11,1

(Gouet et Col., LRCEA-INRA.)

(*) En % de la matière sèche corrigée.

L'élévation du taux de matière sèche diminue l'intensité des fermentations et le plus souvent augmente le pH (tableaux XVIII et XIX).

TABLEAU XIX

Influence du taux de matière sèche et de l'urée sur l'intensité des fermentatons (plante entière)

(Gouet et Col., LRCEA-INRA.)

	T	U- 0,3%	T	U- 0,3%
Matière sèche %	17,0	16,0	21,4	20,7
pH.	3,92	4,42	3,88	3,95
Ac. lactique (*)	8,75	10,36	7,4	8
Ac. acétique (*)	1,47	1,32	1,43	1,94
Alcool (*).	2,10	3,29	—	—
N-NH_3 % N Total	7,2	21,1	6,1	12,1

* En % de matière sèche corrigée.

Le métabolisme azoté

Comparé à la plante sur pied. on constate après conservation par ensilage que :

— le taux d'azote protéique diminue,
— le taux d'azote soluble augmente,
— le taux d'azote ammoniacal ($N\text{-}NH_3$) augmente.

Il s'agit en l'occurrence d'un phénomène général déjà observé chez les fourrages verts ensilés, les protéases végétales solubilisent l'azote protéique alors que les bactéries produisent l'azote ammoniacal.

Pour compenser la carence en matières azotées, on ajoute fréquemment des formes solubles telles que l'urée. Au niveau de l'ensilage, l'urée a pour effet d'augmenter systématiquement les fermentations lactique, acétique et alcoolique (tableau XIX). Une fraction variable (10 à 50 %) avec le degré de réussite de l'ensilage est transformée en $N\text{-}NH_3$ par les uréases bactériennes. Néanmoins, le taux de $N\text{-}NH_3$ dépasse rarement 20 % de l'azote total. Soulignons que le développement bactérien dans le silo n'est pas suffisant pour faire apparaître une augmentation des protéines.

Le désilage

Le matériel de reprise de l'ensilage :

Ce matériel et le mode de désilage sont variables selon le silo employé et la quantité de fourrage ensilé.

La reprise de l'ensilage à partir d'un silo horizontal ou d'un silo-meule vertical se fera verticalement, sur toute la largeur du silo, selon un front d'attaque le plus plan possible.

L'ensilage pourra être repris manuellement à la pelle, à la griffe ou à la tronçonneuse dans les petites exploitations et à l'aide d'une fraise, d'une griffe ou d'une pelle hydraulique dans les plus grandes.

Les silos-tours sont, nous l'avons vu, équipés de désileuses par le bas ou par le haut selon le type employé.

Fréquence du désilage :

Afin d'éviter que la surface mise à nu lors du désilage ne s'altère, elle ne devra pas rester exposée à l'air plus de 24 heures. Aussi un silo ouvert doit être vidé le plus vite possible, régulièrement tous les jours et de préférence le soir en raison des meilleures conditions de température.

Qualité de l'ensilage

La qualité de l'ensilage est directement déterminée par le stade de récolte, la finesse du hachage, la vitesse du remplissage, le tassement et le silo.

L'appréciation de la qualité de l'ensilage se fera de deux façons : l'examen direct et l'examen de laboratoire.

Par l'examen direct, nous pourrons reconnaître un bon ensilage à sa couleur vert-jaunâtre, à son odeur aromatique de tabac anglais et à sa fermeté. Ces simples caractères ont une importance considérable, mais pour être complet, cet examen devra être poursuivi au laboratoire.

Le pH ne constitue pas un caractère valable dans tous les cas : s'il est inférieur à 4, il atteste à coup sûr que l'ensilage est de bonne qualité, mais il peut être voisin de 4,5 et même supérieur à 5 sans que l'ensilage soit mauvais lorsqu'il est riche en matière sèche.

Seuls les concentrations en acide acétique et butyrique, le taux de N-NH_3 (en l'absence d'urée) ont une signification.

Un très bon ensilage ne doit pas renfermer d'acide butyrique, l'acide acétique ne doit pas dépasser 2 g (en % de matière sèche) et le taux d'azote ammoniacal 7 % de l'azote total.

Pertes et échecs de l'ensilage

Les pertes en substances nutritives dues à l'ensilage sont dues à diverses causes dont on ne peut que limiter les effets; ce sont en particulier les fermentations bactériennes, la formation de jus et la dégradation des parties du silage en contact avec les parois du silo ou l'air.

On peut estimer que les pertes en matière sèche dues aux fermentations bactériennes et à la plasmolyse se situent entre 5 et 10 % pour des ensilages dont les taux de matière sèche sont compris entre 25 et 35 % (Gouet. 1970). En deçà et au-delà, les pertes peuvent augmenter sensiblement en raison de l'augmentation des jus ou au contraire d'un mauvais tassement dû à une faible densité. En intensifiant les fermentations, l'addition d'urée augmente aussi les pertes (tableau XX).

TABLEAU XX. — *Pertes de matière sèche au cours de la conservation par ensilage*

(J.T. Huber et al., 1969.)

M.S. %	30,1		36,1		43,7	
	T	U	T	U	T	U
Pertes M.S. (% q. ensilée) . .	6,4	7,7	2,1	10,7	10,1	20,1

Les pertes par moisissures, putréfaction, sont difficiles à chiffrer car extrêmement variables. Elles sont liées essentiellement à la technicité du praticien, aux conditions de stockage et à la vitesse d'exploitation de l'ensilage.

Les échecs sont rares quand l'ensilage est réalisé dans des conditions normales et avec les précautions essentielles. Cependant ils pourraient être dus à une teneur en eau du fourrage trop élevée, à des souillures de terre vectrices d'éléments butyriques ou encore à une trop grande quantité d'oxygène à l'intérieur du silo.

Caractéristiques chimiques et nutritives

Composition chimique

Il y a peu de différence entre la composition chimique du maïs-fourrage vert ou conservé par ensilage. Les différentes caractéristiques chimiques du maïs ensilé sont rapportées dans le tableau de Crampton E.W. et Harris L.E. (1969).

Nous avons là encore un produit riche en extractif non azoté et pauvre en protéines.

La cellulose brute subit pendant l'ensilage un certain nombre de transformations enzymatiques qui vont lui conférer un coefficient de digestibilité supérieur.

La teneur en calcium est faible de 0,10 à 0,15 % et celle du phosphore est de l'ordre de 0,08 %.

La richesse en vitamine A est fonction du stade de maturité de la plante au moment de sa récolte, elle est d'autant plus faible que les feuilles sont plus jaunes, le maïs-fourrage ensilé au stade pâteux contient trois fois

plus de vitamine A que celui ensilé complètement mûr (respectivement 30 et 10 mg/kg d'ensilage).

Jordon et al. (1963) rapportent des symptômes classiques de carence en vitamine A chez des bouvillons nourris au maïs-ensilage. Par contre, Klosterman et al. (1964), expérimentant également chez des bouvillons, estiment que les besoins en vitamine A sont largement comblés par l'ensilage de maïs et qu'une supplémentation est inutile. R.W. Miller et al. (1967) enfin en accord avec Moore et al. (1943), Rousseau et al. (1954), montrent que le maïs-silage peut être une aussi bonne source de carotène que la luzerne déshydratée.

Malgré les quantités de carotène détruites par les processus de l'ensilage, un bon ensilage de maïs est largement aussi riche en vitamine A qu'un foin bien séché.

Par contre le taux de vitamine D augmente au fur et à mesure que le stade de végétation avance et que les grains mûrissent.

Valeur alimentaire

Valeur nutritive :

Le maïs est une plante qui s'ensile très bien et les diminutions de valeur nutritive entre la plante sur pied et la plante ensilée sont faibles et surtout très peu variables d'un ensilage à l'autre. Il en résulte que la valeur nutritive des ensilages de maïs est peu variable.

Lors d'expériences de digestibilité conduites en 1968 et 1969 sur des moutons maintenus en cage à métabolisme, J. Andrieu (1970) cite une digestibilité de la matière organique variant seulement de 66,9 à 74,9, avec une

moyenne de 70,6. Cela correspond à une valeur énergétique moyenne de 0,75 U.F. par kg de matière sèche, avec des extrêmes de 0,68 à 0,85 U.F.

La digestibilité et la valeur nutritive sont indépendantes du stade de récolte (tableau XXI).

Ces résultats qui confirment ceux obtenus sur la plante verte sont en accord avec ceux de JOHNSON et al. (1968) aux U.S.A.

Les coefficients de digestibilité de la matière organique trouvés par ces auteurs sont très voisins. En revanche, leurs ensilages de maïs sont plus riches en matières azotées totales et, par là, en matières azotées digestibles; cela semble assez systématique pour tous les essais américains.

La digestibilité et la valeur nutritive sont indépendantes du type de silo : silo hermétique ou classique et du mode d'ensilage en silos hermétiques : avec ou sans vide.

TABLEAU XXI

Influence du stade de récolte de la plante entière

(moyenne de 3 variétés :
INRA 258 - INRA 200 - DEKALB 204)

(C.R.Z.V., 1969.)

STADES	TENEUR EN M.S. (%)	DIGESTIBILITÉ DE LA MATIÈRE ORGANIQUE EN (%)	VALEUR NUTRITIVE		MATIÈRE SÈCHE INGÉRÉE (KG/100 DE POIDS VIF)	
			UF/kg M.S.	M.A.D. en g/kg M.S.	Moutons	Taurill
Laiteux-pâteux.	24,8	71,0	0,75	40	1,77	1,20
Pâteux-vitreux.	27,5	69,0	0,72	33	1,77	1,17
Vitreux.	34,2	69,9	0,74	28	1,75	1,34

En revanche, il peut exister des différences de digestibilité entre maïs. Elles doivent vraisemblablement être liées à des différences de composition morphologique, notamment de teneurs en grains, mais elles restent faibles car la tige de maïs est relativement digestible (70,0 % au stade pâteux, 60 % au stade vitreux). Il en résulte qu'il faut une variation assez importante de la proportion de l'épi pour entraîner une modification appréciable du coefficient de digestibilité.

Quantité ingérée

La quantité de matière sèche d'ensilage de maïs ingérée par les moutons a été élevée : 1,88 kg pour 100 kg de poids vif en moyenne pour 19 ensilages de plante entière et relativement peu variable (1,55 à 2,20) pour différents ensilages. La diminution d'acceptabilité entre la plante de maïs sur pied et la plante ensilée est donc faible; elle est inférieure à 10 %, alors qu'elle est voisine de 40 % avec les fourrages classiques. Cela semble dû à la présence de grains dans le maïs.

Cette diminution du taux de consommation de la matière sèche du maïs-fourrage ensilé a été également bien mise en évidence par Noller et al. (1963) sur de jeunes bovins de race Holstein.

TABLEAU XXII

STADE VÉGÉTATIF	CONSOMMATION EN KG DE M.S./100 KG DE POIDS VIF/24 H	
	Maïs vert	Maïs ensilé
Stade grain laiteux.....	2,03	1,48
Stade début grain denté..	—	1,89
Stade grain denté avancé.	2,75	1,77

Le niveau de consommation est lié au taux de matière sèche de l'ensilage. Huber et al. (1965) ont montré que le plafond de consommation des bovins pouvait être relevé en différant la date de mise en silo du maïs jusqu'au stade vitreux, ce qui correspond, nous l'avons déjà étudié, à une augmentation de la teneur en matière sèche de la plante et de l'épi.

TABLEAU XXIII

STADE VÉGÉTATIF	CONSOMMATION EN KG DE M.S. /100 KG DE POIDS VIF/24 H		
	1961	1963	Moyenne
Pâteux mou.	1,62	2,22	1,95
Pâteux moyen. . .	1,89	2,33	2,13
Pâteux dur.	2,01	2,56	2,31

Gordon, rassemblant les résultats de plusieurs stations américaines, propose la régression dont l'équation est la suivante : $y = 7{,}78 + 0{,}0735\ x$.

y est la quantité de matière sèche absorbée,
x la teneur de l'ensilage en matière sèche.

La consommation de matière sèche de l'ensilage de maïs est également liée aux facteurs suivants :

— la qualité de l'ensilage : finesse de hachage, conditions de conservation;

— l'âge et le poids des animaux : lorsque les animaux pèsent 300 kg.

La consommation de matière sèche par jour exprimée par 100 kg de poids vif est maximum et peut être estimée entre 1,6 et 2. Puis cette quantité diminue et se situe en dessous de 1,5 kg par 100 kg de poids vif lorsque les animaux pèsent 500 kg et plus.

Enfin, la quantité de matière sèche ingérée est indépendante du type de silo utilisé.

TABLEAU XXIV. — *Composition chimique et valeur nutritive du maïs-fourrage ensilé*

(Crampton (E.W.) et Harris (L.E.), 1969.)

		GRAINS LAITEUX (1)	GRAINS PATEUX (2)	GRAINS MURS (3)	GRAINS MURS (4)	FEUILLES ET TIGES (5)
atière sèche.	%	23,1	25,6	40,0	55,0	27,2
endres.	%	1,4	1,5	2,4	3,0	2,1
ellulose brute.	%	6,3	6,6	9,8	12,6	8,7
xtractif éthéré.	%	0,8	0,8	1,2	1,6	0,7
xtractif non azoté. . .	%	12,8	14,4	23,4	33,5	13,8
rotéines N x 6,25. . . .	%	1,7	2,2	3,2	4,3	2,0
Prot. digest. bovins.	%	0,8	1,0	1,9	2,5	0,8
Prot. digest. ovins. .	%	1,0	1,2	1,8	2,4	0,7
nergie :						
Bovins. . . E.D.KCal/kg		703	745	1 234	1 722	696
Ovins. . . . E.D.KCal/kg		733	779	1 217	1 697	648
Bovins. . . E.M.KCal/kg		576	611	1 012	1 412	570
Ovins. . . E.M.KCal/kg		602	638	998	1 392	531
Bovins T.D.N.	%	16	17	28	39	16
Ovins T.D.N.	%	17	18	28	38	15
F./kg frais (*)		0,18	0,20	0,31	0,43	0,17
F./kg M.S. (*)		0,77	0,78	0,78	0,78	0,62
lcium.	%	0,06	0,04	0,11	0,15	0,10
agnésium.	%	0,09	—	—	—	0,08
osphore.	%	0,06	0,04	0,08	0,10	0,05
otassium.	%	0,36	—	0,42	—	0,39

(1) Référence : n° 3-02-818
(2) » n° 3-02-819
(3) » n° 3-08-153. Maïs 30 % min., 50 % max. de matière sèche.
(4) » n° 3-08-152. Maïs 50 % min. de matière sèche.
(5) » n° 3-02-836.

*Evaluation des U.F. selon la formule de Breirem.

Effets d'une alimentation a base d'ensilage de maïs sur la flore et la faune de la panse

P. Colin (1967) a montré que lors de l'alimentation de bovins, pendant plusieurs mois, à base d'ensilage de maïs, il s'ensuivait des variations importantes dans la répartition du nombre de micro-organismes de la panse. Ainsi le nombre de bactéries augmente et celui des protozoaires diminue: le nombre des protozoaires ciliés maximum avant l'apport d'ensilage, s'abaisse de 0 h à 6 h après l'affourragement pour réaugmenter ensuite.

Les populations de protozoaires Holotriches et du genre Ophrioscolex du rumen diminuent ou même disparaissent en même temps qu'augmente le pourcentage d'ensilage introduit dans la ration; l'activité cellulolytique du contenu du rumen diminue au fur et à mesure qu'augmente la proportion d'ensilage de maïs apporté à la ration.

Utilisation du maïs-ensilage par les bovins

L'emploi de l'ensilage de maïs-fourrage a pratiquement révolutionné à une certaine époque l'alimentation du bétail sur une grande partie des Etats-Unis et revêt ces dernières années une importance de plus en plus grande dans notre pays.

Morrison (1959) estime que pour les vaches laitières l'ensilage de maïs vaut le tiers d'un bon foin, tandis que pour les bovins de boucherie il en représente la moitié, ce qui est considérable.

Les vaches laitières

Le maïs-ensilage est un régime de base intensif en production laitière. De nombreuses expériences faites dans ce domaine ont montré sa grande valeur nutritive quand il lui est adjoint, en raison de sa pauvreté en protéines, un supplément de foin de légumineuses ou des concentrés.

Niveau d'ingestion

— Influence de la teneur en matière sèche. Comme nous venons de l'étudier plus haut, le niveau d'ingestion augmente avec le taux de matière sèche de l'ensilage jusqu'à 35 %. Au-delà il semblerait que la consommation diminue. Sans supplémentation en foin la quantité ingérée de matière sèche de l'ensilage est voisine de 10 kg, soit une ration d'ensilage de l'ordre de 35 kg et plus.

— Influence de l'apport de foin. Avec des rations comprenant des quantités croissantes de foin on observe une diminution de la quantité d'ensilage consommé mais une augmentation très nette du pourcentage de matière sèche ingérée par rapport au poids vif de l'animal.

— Influence du niveau d'apport d'aliment concentré. L'apport d'un aliment concentré ne semble pas réduire la quantité de matière sèche d'ensilage ingérée dans la mesure où l'apport en celui-ci reste limité.

Production laitière

— Influence de la teneur en matière sèche. On n'a pu établir d'une façon certaine une relation entre la teneur en matière sèche de l'ensilage et la production laitière.

Cependant la présence de grains à maturité semble avoir une action certaine sur la quantité de lait produite.

— Apport de foin. Avec des quantités croissantes de foin ajoutées à l'ensilage on note une diminution constante de la production laitière alors que le pourcentage de matière sèche ingérée par rapport au poids vif est en hausse (R. Vérité, A. Hoden et M. Journet, 1970).

— Apport de concentrés. La supplémentation de l'ensilage avec des concentrés entraîne, par contre, une augmentation très nette de la production laitière.

Il découle de ces remarques que le kg de substances nutritives digestibles provenant d'un ensilage de maïs-fourrage mûr aura une action plus importante sur la production de lait que le kg de substances nutritives digestibles du foin ou de l'ensilage de maïs jeune. Hoffman explique cela par l'existence de facteurs de croissance non identifiés dans le grain.

En fait, si on coupe les épis, cet effet disparaît et il reparaît si on les distribue à part. Il semble donc qu'on puisse affirmer que 8 kg de maïs mûr ensilé à 70 % environ d'humidité peuvent remplacer un kg de concentré à valeur productive égale dans la ration de vaches laitières.

Un autre effet de l'ensilage de maïs, mis en évidence par Zelter, serait dû à la présence d'acide acétique et d'acide butyrique qui sont deux acides gras qui interviennent dans la formation des matières grasses du lait.

Enfin, lors d'alimentation de longue durée de vaches laitières par des auteurs russes avec des rations saturées en maïs ensilé, il n'a pas été possible de déterminer des différences notables dans la composition du lait entre le groupe expérimental et le groupe témoin. Les produits fabriqués à partir des deux groupes ont été de même qualité,

Etat physiologique lors d'alimentation avec de l'ensilage pendant de longues durées

Bahanov et al. (1966), expérimentant en U.R.S.S. pendant deux ans et demi sur des vaches laitières nourries à partir de rations équilibrées et de maïs ensilé à volonté, ont noté une baisse de l'appétit des vaches et une diminution de la consommation et de l'utilisation de la matière sèche de la ration.

La dynamique du poids des vaches laitières n'a cependant pas été modifiée.

Par contre, il a été observé des états physiologiques anormaux : intoxications alimentaires périodiques, abaissement des aptitudes à la reproduction, troubles du cycle sexuel, valeur biologique du lait insuffisante, ce qui s'est répercuté fâcheusement sur la résistance des veaux aux infections intestinales et sur leur croissance duran l'allaitement.

Distribution

Elle doit avoir lieu en dehors de la traite, car les matières grasses du lait peuvent prendre et conserver l'odeur si caractéristique de l'ensilage.

Il faudra enfin nettoyer les auges avec soin quand les animaux auront fini de manger; en effet, l'ensilage se corrompt facilement et pourrait même être toxique s'il était laissé trop longtemps à l'air et à l'humidité.

TABLEAU XXV

Influence de la teneur en matière sèche de l'ensilage de maïs sur les quantités ingérées et la production laitière
(R. Vérité, A. Hoden et M. Journet, 1970.)

AUTEURS	MATIÈRE SÈCHE DE L'ENSILAGE %	QUANTITÉS INGÉRÉES KG MATIÈRE SÈCHE				PRODUCTION LAITIÈRE
		Ensilage	Aliment concentré	Ensilage + foin % du poids vif	Ration totale % du poids vif	KG 4 %
	17,6	8,9	2,3	1,90	2,30	16,0
Fisher et al.,	21 7	10,5	2,4	2,22	2,65	17,4
1967	17,6	10,6	2,3	1,86	2,26	15,5
	21,7	12,2	2,4	2,14	2,56	16,6
	19,1	9,2	0	1,61	1,61	9,0
	23,6	9,5	0	1,66	1,66	9,4
Logan et al.,	26,4	10,2	0	1,79	1,79	8,7
1967	22,1	6,2	2,4	1,65	2,07	12,8
	26,6	6,9	2,4	1,70	2,12	13,0
Bryant - Blaser Hammes - Huber,	21,8	8,0 (1)	4,8	1,75	2,59	14,4
1966	32,0	10,8 (1)	5,0	2.24	3,12	14,9
	25,4	10,3	5,8	1,81	2,82	17,0
	30,3	10,8	5 8	1,90	2,91	17,7
Huber - Graf	33,3	11,4	5,8	2,00	3,02	17 8
et Engel, 1965			Tourteaux			
	25,4	11,1	3,0	1,95	2,47	18,6
	30,3	12,1	3,0	2,13	2,65	19,7
	33,3	13,2	3,0	2,31	2,84	20,0
Huber - Thomas	30,1	11,2	5,9	1,96	3,00	23,6
et Emery, 1968	36,1	11,7	5,8	2,06	3,07	22,1
	43,7	10,4	5,6	1,82	2,81	23,3
Gordon et Derbyshire,	31,3	6,8 (1)	6,8	1,54	2,72	21,6
1968	57,9	5,1 (1)	6,6	1,37	2,57	20,5
Owens et	38,7	5,3 (1)	6,3	1,49	2,58	16,0
Jorgensen, 1963	60,0	5,5 (1)	6,3	1,52	2,52	16,0

(1) Régimes à base d'ensilage de maïs + foin.

TABLEAU XXVI

Utilisation par les vaches laitières de régimes à base de foin plus ensilage de maïs ou d'ensilage de maïs seul

(R. VÉRITÉ, A. HODEN et M. JOURNET, 1970.)

AUTEURS	DURÉE DE L'ESSAI SEMAINES	M.S. DE L'ENSILAGE (%)	QUANTITÉS INGÉRÉES (KG DE MATIÈRE SÈCHE)					PRODUCTION LAITIÈRE KG 4 %
			Ensilage	Foin	Aliment concentré	Ensilage + foin % du poids vif	Ration totale % du poids vif	
COPPOCK, 1966 Résultats de BROWN	40	28,3	6,7	0	8,1	1,18	2,60	22,3
			4,6	3,5	7,6	1,42	2,75	21,2
			3,8	5,0	7,4	1,54	2,83	20,1
			0	10,8	7,2	1,89	3,15	20,1
HEMKEN et VANDERSALL, 1967	40	32,6	4,4	2,8	8,8	1,26	2,80	19,3
			7,1	0	8,8	1,25	2,79	20,6
BROWN-THOMAS et EMERY, 1966	2 lactations consécutives	1re	6,7	0	9,0	1,11	2,61	22,4
			0	11,2	8,0	1,87	3,20	20,2
		2e	8,8	0	8,4	1,13	2,53	22,1
			0	11,1	8,6	1,85	3,28	19,9
FISHER et al., 1967	12	19,6	9,7	2,0	2,4	2,06	2,47	16,7
			11,4	0	2,4	2,00	2,41	16,1
	16	24,3	6,9	2,0	2,4	1,56	1,98	12,8
			6,2	4,0	2,4	1,79	2,21	12,9

Perspectives d'utilisation.

Pour combler le déficit en protéines du maïs-fourrage ensilé, il pourra être employé, outre les foins et les concentrés dont nous venons de parler, deux formules nouvelles de complémentation azotée : la luzerne déshydratée et l'urée.

Nous les étudierons dans un chapitre ultérieur.

Production de viande bovine

L'ensilage de maïs-fourrage doit être considéré comme le meilleur de tous les ensilages lorsqu'il est distribué aux jeunes bovins de boucherie.

Comportement alimentaire de bovins nourris d'ensilage de maïs-fourrage et d'ensilage de maïs-grain broyé.

Coléou et al. ont montré que la consommation d'épis était très supérieure à celle du maïs-fourrage (tableau XXVII). Cependant nous notons une faible consommation de matière sèche de maïs-fourrage en comparaison d'autres résultats cités dans cette thèse, nous ne connaissons pas le stade de maturité du maïs-fourrage employé ici.

Performances zootechniques.

Des expériences très sérieuses ont été conduites, ces dernières années, dans le Finistère par l'I.T.C.F. en collaboration avec la Maison de l'Elevage du Finistère. Elles permettent de montrer les performances zootechniques permises avec des régimes à base de maïs.

TABLEAU XXVII

(Coléou et al.)

RÉGIME	CONSOMMATION DE MATIÈRE SÈCHE kg/j/100 kg de poids vif		TOTAL
	Maïs-Ensilage	Fourrage Ray-grass italien	
Maïs-fourrage + Ray-grass italien..	1,14	0,98	2,12
Maïs-épi + Ray-grass italien..	2,28	0,85	3,13

Les jeunes bovins de l'expérience recevaient une ration de 89 % d'ensilage à 25 % de matière sèche + 10 % de tourteaux de soja (tableau XXIX).

Les performances de croissance (tableau XXIX, fig. 7) sont intéressantes mais relativement modestes en comparaison de celles obtenues avec des rations à base de maïs-fourrage déshydraté. D'autre part, ces animaux ont été généralement vendus avant d'être suffisamment finis.

De nombreux résultats enregistrés en exploitation rurale confirment ceux donnés ici et montrent que pour obtenir des gains moyens journaliers supérieurs à 100 g/j et un état de finition suffisant avec des régimes à base d'ensilage de maïs, il est nécessaire de complémenter la ration avec des céréales; on obtient ainsi de bons résultats avec 600 kg d'orge par animal.

Indices de consommation

Par contre, les indices de consommation sont apparemment très favorables à l'ensilage de maïs (tableau XXIX).

Possibilités d'association aux autres fourrages des zones herbagères.

Le maïs et les graminées fourragères peuvent être associés de différentes manières dans l'alimentation des jeunes bovins ou pour constituer un régime qui restera constant toute la vie de l'animal ou pour être distribués successivement en fonction des périodes de production.

Cette dernière méthode d'association a été étudiée par l'I.T.C.F. et la Maison de l'Elevage du Finistère en utilisant du maïs-fourrage ensilé pendant l'hiver et du ray-grass vert pendant l'été (tableau XXX).

La proportion importante de ray-grass, qui est moins riche en énergie que le maïs, explique la différence d'indice avec les animaux nourris avec une ration continuelle d'ensilage de maïs.

Le changement d'alimentation se traduit par une diminution de la croissance, surtout lorsqu'on passe de l'ensilage de maïs au ray-grass vert (figure 8).

La succession ensilage de maïs-ray-grass vert ne paraît pas susceptible d'améliorations considérables, sauf si on accepte d'introduire des céréales, ce qui n'est pas forcément intéressant du point de vue économique en zone herbagère.

Comparaison de l'ensilage de maïs avec des ensilages de pulpes et collets de betteraves sucrières.

H. Caballero Delpino (1965), lors d'expériences d'engraissement de bœufs avec des rations à base de différents ensilages, estime que ces aliments pourraient à égalité de poids se remplacer comme suit :

— En tant que matière fraîche :

1 tonne d'ensilage de maïs =

1,36 tonne d'ensilage de pulpes de betterave sucrière,

1,75 tonne d'ensilage de collets de betterave sucrière.

— En tant que matière sèche :

1 kg d'ensilage de maïs =

1,04 kg d'ensilage de pulpes de betterave sucrière,

1,56 kg d'ensilage de collets de betterave sucrière.

Rendement de viande à l'hectare

A. Faucon (1970), comparant diverses sortes de rations, montre que la production de viande à l'hectare est beaucoup plus élevée avec un régime à base de maïs que celle permise avec des rations traditionnelles (foin, betteraves, choux fourragers, rutabagas).

TABLEAU XXVIII. — *Comparaison d'une ration traditionnelle et d'une ration à base d'ensilage de maïs dans l'engraissement de bœufs de 2 ans.*

(A. FAUCON, 1970.)

	SURFACE PAR ANIMAL (ares)*	COMPOSITION D'UN HECTARE (%)	NOMBRE D'ANIMAUX ENGRAISSÉS	QUANTITÉ DE CROÎT PRODUITE PAR HA (kg de P.V.)	ALIMENTS (hors sol) NÉCESSAIRES
Ration 1					
Foin + Ensilage — d'herbe	12,5	46,5 %			Concentré azoté : 112 kg × 3,7 = 415 kg
Betteraves	6,0	22,0 %	3,7	500	
Rutabagas	3,0	11,0 %			
Choux fourragers	5,5	20,5 %			
Ration 2					
Ensilage maïs	12	67			Tourteaux : 190 × 5,55 = 1 050 kg
Céréales	6	33	5,55	750	

* Rendements moyens considérés par culture (en M.S. disponible/ha).

Ration 1 :

Herbe : 6-7 tonnes. Betteraves : 8-9 tonnes. Rutabagas et choux fourragers : 5-6 tonnes.

Ration 2 :

Ensilage de maïs : 10 tonnes de M.S. par ha.
Céréales (orge) : 40 quintaux par ha.

En conclusion, le maïs-fourrage consommé sous forme d'ensilage demeure très intéressant pour l'élevage des bovins à condition de le supplémenter en matières azotées.

TABLEAU XXIX

Performances zootechniques obtenues avec trois régimes à base de maïs

LOTS	I	II	III
RÉGIMES	en % de l'aliment		en % de la M.S.
Maïs déshydraté %	98	91	
Maïs ensilé %			89
Urée %	2	1	1
Tourteau de soja %		8	10
Nombre d'animaux	12	12	12
Races	Frisonne	Frisonne	Frisonne
Poids initial (kg)	362	364	360
Poids final (kg)	528	531	487
Durée (jours)	134	134	134
Gains moyens journaliers en g/jour	1 240	1 246	945
Quantités consommées en kg de M.S	1 358	1 336	919
Indices de consommation en kg de M.S. de gain	8,18	8	7,24
Poids d'abattage à jeun	523	518	487
Poids de carcasse	298	292	279

N.B. — Les animaux recevant du maïs déshydraté ont reçu en plus 1 kg de foin par tête et par jour dont il est tenu compte dans l'indice de consommation et les quantités consommées.

Un complément minéral a été distribué à raison de 2,2 % de la ration journalière par animal et par jour.

(Maison de l'Elevage du Finistère en collaboration avec l'I.T.C.F., 1967-1968.)

Figure 7

- COURBES DE CROISSANCE MOYENNE

DES LOTS DE TAURILLONS EN EXPERIENCE
(seulement pour la période expérimentale)

Maison de l'Elevage du Finistère et ITeF.
(1967 68).

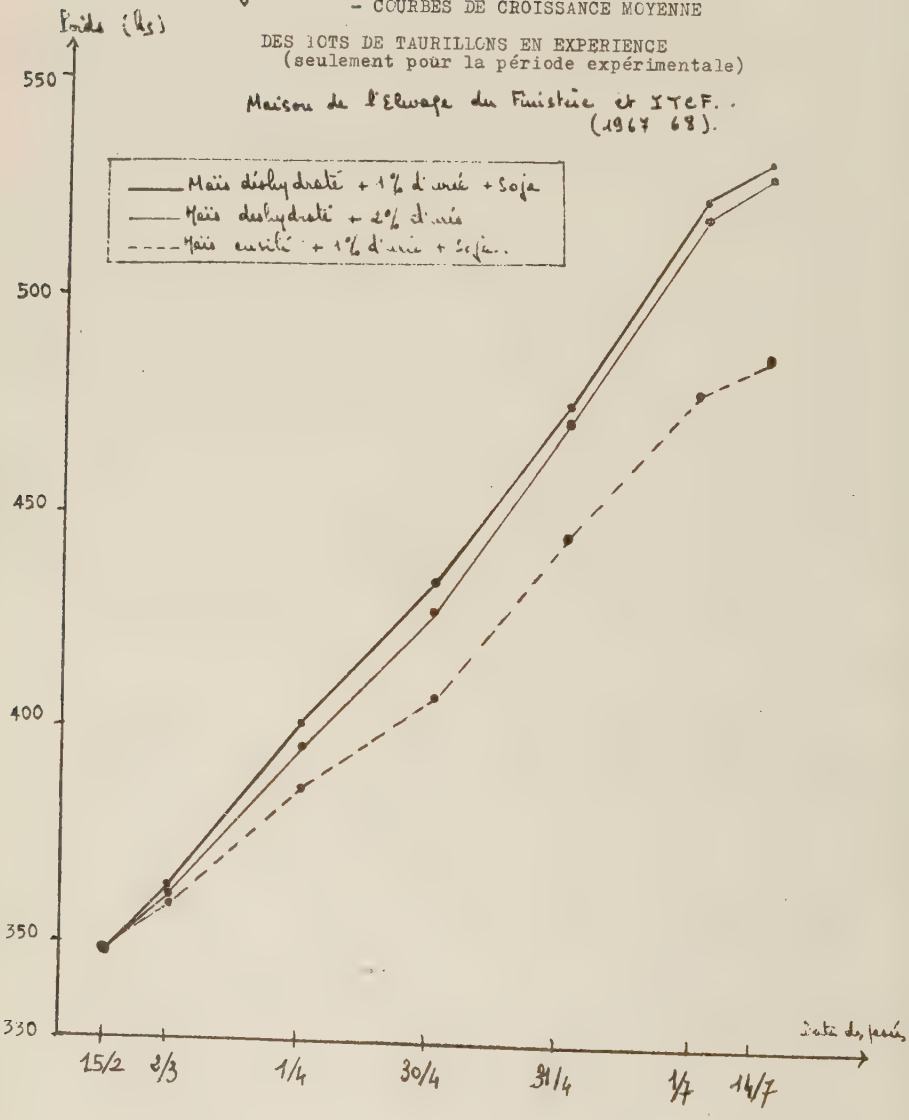


TABLEAU XXX

Résultats zootechniques obtenus avec des jeunes bovins alimentés soit de maïs déshydraté et de ray-grass déshydraté, soit de maïs ensilé suivi de ray-grass vert suivi d'ensilage de maïs.

LOTS	III		IV		
RÉGIMES	IIIa	IIIb	IVa	IVb	IVc
Maïs déshydraté	84				
Ensilage de maïs			84		84
Ray-grass déshydraté. . .		100			
Ray-grass vert. .				100	
Tourteau de soja	16		16		16
Foin (1).	+	+			
Nombre d'animaux. . . .	9		9		
Races.	Normande		Normande		
Poids initial (kg). . . .	173		171		
Poids final (kg).	596		564		
Durée (jours).	393		430		
Gains moyens journaliers en g/jour.	1 076		916		
Quantités consommées en kg de M.S.	3 649		2 701		
Indices de consommation en kg de M.S./kg de gain.	8,62		6,85		
Poids d'abattage à jeun (kg).	561		530		
Poids de carcasse (kg)	317		309		

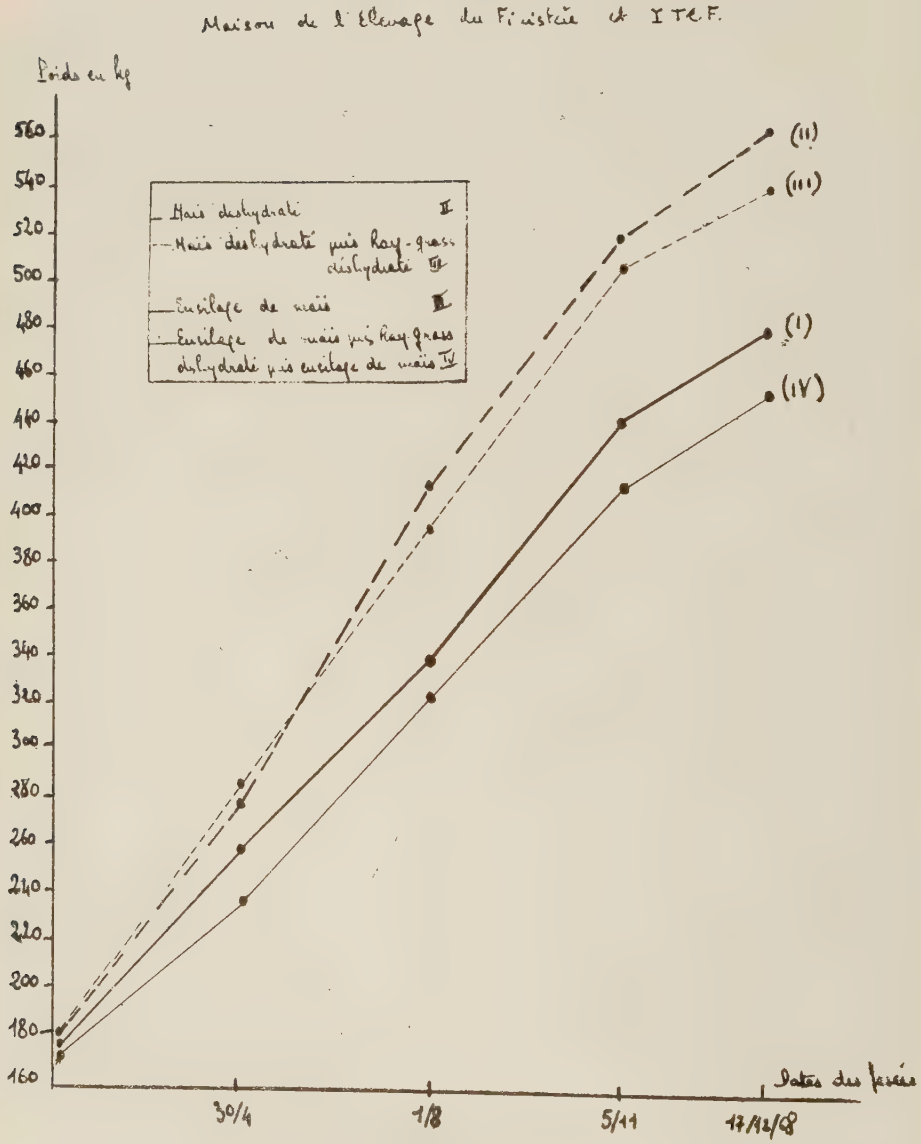
(1) Distribution d'un kg de foin par jour et par animal.

N.B. — Ces régimes contenaient en plus 2 % d'un composé minéral vitaminisé.

Consommation de paille de litière à volonté pour le lot II.

(Maison de l'Elevage du Finistère en collaboration avec l'I.T.C.F., 1967-1968.)

FIG. 8. — Courbe de croissance moyenne des taurillons
Maison de l'Elevage du Finistère et I.T.C.F.



Intérêt de l'ensilage

L'administration d'ensilage de maïs dans l'alimentation des bovins présente de nombreux avantages dont nous n'étudierons que les principaux :

— Un meilleur rendement alimentaire que le fourrage vert. Les pertes en éléments ligneux et en grains sont beaucoup moins importantes dans le cas de l'ensilage.

— Une grande appétence. C'est un aliment excellent, savoureux, très apprécié des bovins. Cependant, le niveau de consommation de matière sèche de l'ensilage reste inférieur à celui observé pour le maïs-fourrage vert.

— Une valeur nutritive constante. Dans beaucoup de régions trop humides, il est très difficile d'obtenir du foin avec succès et une grande partie de la récolte peut être abimée par la pluie en dépit des plus grands soins. Les pertes dues à l'ensilage seront en outre inférieures à celles observées lors de la fenaison.

— Une action laxative bénéfique sur la régulation intestinale.

— Un maillon d'un nouveau système d'élevage. A une époque où le problème de la main-d'œuvre est de plus en plus important et où de graves questions de rentabilité se posent en élevage, le maïs ensilé peut permettre un nouveau système d'élevage hautement mécanisé à ses différents stades (récolte et distribution) avec une suppression plus ou moins totale du pâturage et ainsi diminution des refus, de la main-d'œuvre nécessaire à la conduite du troupeau et une meilleure exploitation du fourrage dont il sera plus facile de saisir le stade optimum de récolte. Il peut figurer comme seul aliment grossier dans les régimes sans complémentation excessive de concentré et permettre ainsi une meilleure organisation du travail.

La déshydratation du maïs-fourrage

Introduction :
Importance grandissante de la déshydratation

La déshydratation ne s'est adressée tout d'abord en France qu'à une seule plante: la luzerne, dont le produit fini était destiné principalement à l'industrie des aliments du bétail. Mais ces dernières années une autre sorte de déshydratation, qualifiée celle-ci d'agricole, est née. Elle se différencie principalement de la première par des objectifs différents qui sont de préparer des produits destinés à l'alimentation directe des animaux à viande ou à lait, et elle tend à s'étendre vers d'autres produits : graminées fourragères, maïs-plante entière, collets de betteraves...

C'est ainsi que le maïs-plante entière prend actuellement une place de plus en plus importante dans le calendrier fourrager des usines de déshydratation car sa récolte se situe après la période végétative des autres fourrages et permet d'augmenter la durée de fonctionnement de ces unités en fin de saison. On peut en plus agir sur l'étalement de la récolte par le choix de variétés de précocités différentes.

Technologie

La déshydratation

— Principes généraux sur la déshydratation.

L'objet du traitement est d'enlever la majeure partie de l'eau contenue dans le produit.

Pour cela on a recours au séchage par entraînement :

il consiste à augmenter artificiellement la température de l'air qui traverse le produit en se chargeant d'eau. A l'autre bout du circuit, l'air humide est séparé du produit déshydraté. Plusieurs caractéristiques distinguent la déshydratation des autres modes de séchage, le temps de contact entre l'air et le fourrage est relativement court et les températures d'air chaud employées sont corrélativement plus élevées.

A l'heure actuelle les déshydrateuses sont de quatre types :

— à case,
— à tablier transporteur,
— à tambour,
— pneumatiques.

Au moment de son apport à l'entrée de la machine le fourrage peut être sous une forme longue ou hachée. Cette seconde forme est indispensable dans l'utilisation des déshydrateuses pneumatiques.

Les déshydrateuses seront caractérisées par trois critères de fonctionnement : le débit, la capacité d'évaporation et la température de l'aire de séchage.

— *Problèmes spécifiques au maïs.*

Le produit vert présenté à l'entrée de la machine est un mélange haché de tiges, spathes, râfles, grains...

Les phénomènes observés sont essentiellement liés à la grande hétérogénéité du produit vert: hétérogénéité tant par la forme que par l'humidité des constituants; elle est d'ailleurs plus accentuée pour les stades tardifs.

Les morceaux de râfles et les grains sont des éléments qui, par leur volume et leur texture, nécessitent un temps de séchage beaucoup plus important. Il existe à la mise en route un certain temps de mise en charge du tambour avant qu'un mélange homogène n'arrive aux presses.

L'humidité moyenne du produit vert à l'entrée de la machine a une importance capitale sur son fonctionnement et ses réglages. Ainsi des expérimentations ont montré pour un produit à 80 % d'humidité qu'au-dessus de 900°C il y a des risques de combustion de certaines parties du produit qui prend alors une teinte et une odeur caractéristique. Quand l'humidité diminue il faut également baisser la température du foyer. Cependant les variations d'humidité du produit vert au cours d'une même journée sont peu importantes (1 à 2 % autour de la moyenne) et n'ont qu'une influence minime sur la marche de l'installation.

La présentation du produit vert joue également un grand rôle; quel que soit le type de séchoir utilisé, il doit être très divisé. En effet, si des morceaux de râfles ou de tiges trop gros existent, ils ne sont pas séchés complètement et créent une hétérogénéité dans le produit à agglomérer.

En particulier, les grains entiers et les éléments de râfle, matériaux très « élastiques », créent des points de rupture dans les agglomérés sortant de la filière.

Broyage. Agglomération

Il existe une interaction certaine entre ces deux phénomènes. Lors de recherches conduites à la ferme expérimentale de l'I.T.C.F. (J. Montagu, 1970) on a conclu que pour obtenir une agglomération correcte il était nécessaire de disposer, avant les presses, d'un produit homogène obtenu par l'implantation d'un broyeur dans le circuit.

Comme pour tous les autres produits traités, le débit des presses augmente avec la finesse de broyage.

Notons enfin qu'il existe trois types principaux de presses : les presses à piston, à vis et à rouleaux.

Refroidissement

Les produits issus d'une telle fabrication sont à une température élevée. Elle est généralement comprise entre 65 et 85°C suivant les caractéristiques des filières utilisées. Quel que soit le type de produit fini, le refroidissement des granulés issus de la presse doit être parfait afin de ne pas compromettre une bonne conservation ultérieure. Il faut remarquer que plus les granulés ont un diamètre important, plus le refroidissement est lent, la chaleur accumulée au sein des croquettes mettant un temps supérieur pour s'évacuer.

Stockage et manutention

Le maïs déshydraté est stocké comme le grain sec, c'est-à-dire en vrac à même le sol, en sacs ou dans des cellules, mais en raison de sa fragilité, sa manutention exige certaines précautions : faible hauteur de chute, aucun transfert par vis montées sous carter. La manutention des granulés en vrac se fera donc dans de petits récipients ou par bandes transporteuses.

Les caractéristiques physiques du maïs-fourrage déshydraté et aggloméré

La mesure des caractéristiques physiques de ce produit va permettre :

— aux utilisateurs d'exprimer leurs exigences à partir de critères objectifs et mesurables;

— aux fabricants de se faire des normes de fabrication et de s'y conformer.

Les qualités physiques recherchées sont fonction du mode de conditionnement.

Nous allons les étudier successivement (J. Dolz, 1970).

Une bonne agglomération et une friabilité minimum.

Le taux d'agglomération est fonction du stade de maturité de la plante et de l'emploi ou non de broyeur.

Il existe en outre une corrélation étroite entre le taux d'agglomération et la friabilité.

On a donc intérêt à prendre soin du taux d'agglomération si on veut éviter les pertes après la fabrication.

Une dureté acceptable.

On observe une assez bonne corrélation entre la dureté-cohésion et la friabilité. Cependant le maïs. surtout au stade pâteux-vitreux, traduit ses mauvaises dispositions avec des friabilités supérieures à 20 % malgré des duretés assez conséquentes, 20-30 et même 30-40.

Une bonne densité.

La densité est également fortement corrélée avec le taux d'agglomération et la friabilité.

Une humidité compatible avec une bonne conservation.

Les écarts instantanés d'humidité ne doivent en général pas dépasser 2 à 3 points d'humidité sous peine de compromettre la réussite de l'agglomération.

Il existe une humidité moyenne du produit en équilibre avec le niveau fixé aux paramètres du conditionnement (broyage, pressage).

Pour le maïs-fourrage, elle est estimée à une valeur de :

9 à 12 % au stade laiteux,

9 à 10 % au stade pâteux-vitreux,

Une proportion suffisante de grosses particules dans le spectre représentatif de la texture du fourrage aggloméré.

La granulométrie des granulés se caractérise assez bien au moyen de deux paramètres :

— la valeur moyenne de la distribution qui correspond en gros à l'ouverture des mailles du trémis laissant passer 50 % de particules de fourrage à travers son réseau de mailles ;

— l'étendue du spectre granulométrique correspondant conventionnellement au nombre de tamis qui retiennent 95 % des particules.

Le broyage permet d'avoir des valeurs de distribution et des étendues du spectre granulométrique nettement inférieures.

Les distributions contenant le plus de particules grossières sont également celles qui sont les plus hétérogènes.

Le maïs a une position privilégiée du fait que le calibre des particules arrivant à la presse est bien plus important que celui d'une graminée fourragère.

Valeur nutritive et emploi du maïs-fourrage déshydraté

La valeur nutritive et l'emploi optimum du maïs-fourrage déshydraté sont encore très mal connus. Aussi nous pouvons admettre que, comme pour tous les autres fourrages, la déshydratation va provoquer une diminution de la valeur nutritive du maïs.

Par son séchage rapide, elle demeure, cependant, la méthode qui provoque le moins de pertes : elle réduit considérablement les pertes par respiration et supprime celles causées par la pluie ou l'activité des micro-organismes. Les seules pertes qui subsistent et qui peuvent être qualifiées de mécaniques résultent de la combustion

partielle ou totale de certaines parties du produit, ainsi que de la perte de très fines particules entraînées par les gaz chauds.

On peut conclure des quelques études réalisées sur les modifications de valeur nutritive (Waston, 1951 ; Edin et Helleday, 1942 ; Dijkstra, 1958 ; Bilanski, 1965) que la déshydratation effectuée dans des appareils bien réglés provoque une diminution négligeable de la valeur azotée du fourrage.

On a pu observer également des modifications de la valeur nutritive et de l'acceptabilité entraînées par le conditionnement du produit déshydraté.

Plusieurs expériences ont été réalisées ces dernières années par l'Institut National des céréales et des fourrages en liaison avec l'U.R.O.P.A. de la chaire de Zootechnie de l'Institut National Agronomique et divers organismes régionaux. Ces essais visent principalement à :

— calculer la valeur énergétique du maïs-fourrage déshydraté ;

— connaître le comportement alimentaire et la croissance de jeunes taurillons recevant un régime à base de maïs-fourrage déshydraté ;

— étudier l'association possible de ce produit à d'autres fourrages ;

— déterminer si le maïs-fourrage déshydraté peut se substituer à une céréale récoltée à maturité et dans quelles proportions.

Le matériel expérimental utilisé est composé de taurillons d'âge et de poids semblables.

Valeur énergétique :

Lors d'un premier essai réalisé en 1966-67 sur des bouvillons recevant les rations du tableau XXXI, on a pu

calculer les valeurs énergétiques en U.F. par kg de matière sèche du maïs-fourrage déshydraté. Elles sont résumées dans le tableau XXXII.

TABLEAU XXXI

RÉGIMES / ALIMENTS	A	B	C	D
Orge agglomérée.	70	50	30	10
Maïs déshydraté.	0	20	40	60
Luzerne déshydratée. . .	30	30	30	30
	100	100	100	100

TABLEAU XXXII

RÉGIMES / LOTS	B	C	D
1.	0,90	0,98	1,02
2.	0,72	0,78	0,90
3.	0,81	0,88	0,96

Ce premier résultat a, par la suite, été confirmé par d'autres essais et nous pouvons admettre que le maïs-fourrage déshydraté condensé a une valeur énergétique comprise entre 0,8 et 0,9 U.F. par kg de produit.

Courbe de croissance et indice de consommation :

Un autre essai réalisé à Kerbernes sur la ferme expérimentale de la Maison de l'Elevage du Finistère a montré des courbes de croissance (figure 7) très intéressantes avec des animaux recevant des rations à base de maïs déshydraté (tableau XXIX).

Les performances de croissance étaient très supérieures à celles obtenues avec les rations à base d'ensilage de maïs. Par contre, les indices de consommation étaient, nous l'avons déjà vu, apparemment favorables à l'ensilage de maïs.

En fait, cette observation doit être nuancée pour deux raisons principales :

Tout d'abord les animaux qui ont reçu le maïs déshydraté ont consommé également 1 kg de foin par tête et par jour pour faciliter la rumination, ce foin a été comptabilisé dans l'indice de consommation où il représente, dans chacun des deux lots 1 et 2. 0.7 kg de matière sèche par kg de gain de poids vif.

Ce foin ayant une valeur énergétique très faible gonfle artificiellement les indices de consommation.

D'autre part, les animaux des lots 1 et 2 ayant de meilleures performances de croissance ont fixé du gras dans leurs tissus beaucoup plus tôt et en plus grande quantité que ceux du lot 3.

Les animaux des lots 1 et 2 ont eu des carcasses plus lourdes et mieux finies que ceux du lot 3.

Si l'on tient compte de ces différentes remarques, la contradiction qui existe entre les gains moyens journaliers et les indices de consommation un peu forts est déjà beaucoup moins grande.

Il n'en demeure pas moins que les gains moyens journaliers élevés dans les lots 1 et 2 s'expliquent par une consommation plus importante d'un produit qui possède au moins la même valeur énergétique que l'ensilage de maïs.

Ces résultats obtenus avec des animaux relativement âgés ont été confirmés lors d'une deuxième expérience avec des taurillons plus jeunes et pendant une période expérimentale plus longue.

Association du maïs-fourrage déshydraté aux autres fourrages des zones herbagères

Dans une usine de déshydratation il est exclu de ne déshydrater que du maïs et dans les zones herbagères, il est vraisemblable que les graminées tiendront une place importante dans le calendrier de déshydratation. Un autre essai a donc consisté à étudier l'effet d'un changement de régime sur la croissance des animaux. C'est pourquoi le lot (tableau XXX, figure 8) a reçu successivement du maïs-fourrage déshydraté et du ray-grass déshydraté, le lot 2 n'ayant subi aucun changement de régime (maïs-fourrage déshydraté).

Là encore les produits déshydratés ont permis des croissances supérieures aux produits humides, surtout grâce à une augmentation notable de la consommation.

Les indices de consommation évalués en kg de matière sèche sont beaucoup plus élevés dans le lot 3, le ray-grass déshydraté est donc moins énergétique que le maïs.

Enfin on note une diminution de la croissance en comparaison avec le maïs déshydraté seul.

La succession des produits déshydratés employés ici ne semble pas la plus favorable, il serait sans doute préférable de nourrir les animaux avec du ray-grass déshydraté pendant leur croissance et de les finir avec du maïs déshydraté.

Maïs déshydraté employé comme aliment concentré

Lors d'un premier essai en 1966-1967, relaté plus haut et alliant dans 4 rations l'orge agglomérée, le maïs et la luzerne déshydratés (tableau XXXI), on s'est intéressé à la valeur de substitution du maïs-fourrage déshydraté

à une céréale comme l'orge. La différence entre les régimes ne s'est pas montrée au niveau des croissances mais au niveau de la meilleure utilisation du maïs-fourrage déshydraté avec l'augmentation de son taux d'incorporation (plus le rapport maïs-orge est élevé et plus forte est la valeur énergétique du maïs comparée à celle de l'orge).

Il est donc possible d'obtenir des croissances aussi élevées avec un régime où le concentré est le maïs déshydraté qu'avec un régime comprenant de l'orge.

De plus, cet essai a permis de calculer que 1 kg de maïs déshydraté se substituait dans le régime étudié à 0,850 kg d'orge. Dans ces conditions, un champ de maïs produisant 15 tonnes de matière sèche à l'hectare a une production équivalente à 140 quintaux d'orge à l'hectare. De telles conséquences spectaculaires ont été confirmées lors d'un deuxième essai avec des animaux dont les performances se sont révélées pratiquement semblables.

Dans le type de maïs étudié il semble donc bien que le maïs déshydraté puisse être considéré comme un véritable aliment concentré.

Conclusion :
Avantages de la déshydratation du maïs-fourrage

Cette méthode toute nouvelle devrait connaître un essor important en raison de ses avantages nombreux.

En effet, elle permet :

— d'obtenir un aliment de conservation facile présentant une valeur nutritive pratiquement constante, tout en réduisant au maximum les pertes en éléments nutritifs lors de la récolte, de la conservation et de la consommation; cette méthode pourra être adoptée dans le cas d'exploitations importantes où la récolte de l'ensilage en quantité suffisante est très difficile à réaliser dans un temps réduit;

— de diminuer le besoin en main-d'œuvre habituellement nécessaire pour la manutention de l'ensilage;

— de permettre avec l'ensilage et le foin de nourrir un troupeau de vaches laitières ou de jeunes bovins sans apport de beaucoup de concentrés. Le maïs-fourrage déshydraté pourra jouer le rôle de concentré et complémenter ainsi une ration en ensilage de maïs-fourrage à condition d'ajouter des composés azotés;

— de diminuer le prix de revient des autres produits traités dans l'usine de déshydratation car le maïs-fourrage présente l'avantage de venir compléter un calendrier assez creux en octobre dans les régions non productrices de betteraves.

QUATRIÈME PARTIE

LA SUPPLÉMENTATION DU MAIS-FOURRAGE

L'utilisation du maïs rend nécessaire une complémentation importante en azote et en minéraux comme nous l'avons observé de nombreuses fois dans cette étude.

L'apport azoté

L'apport protéique est le principal facteur limitant de la ration des ruminants à base de maïs-fourrage. La qualité de l'azote complémentaire importe relativement peu car, quelle que soit sa provenance, il est en grande partie transformé en protéines de synthèse microbienne à l'intérieur du rumen.

L'apport de protéines

Les principales sources de protéines pouvant servir de complément au maïs-fourrage sont les légumineuses, le soja et les tourteaux.

Les légumineuses :

— un bon foin de légumineuses riche en azote est souvent suffisant pour obtenir une ration convenablement bien équilibrée pour des animaux non hautement productifs.

— la luzerne déshydratée est très utilisée aux U.S.A. dans la composition d'aliments complémentaires. Elle présente un intérêt certain en raison de sa forte teneur en protéines (15 à 22 %) et en vitamine A (Bayet, 1969).

La luzerne déshydratée a en outre l'avantage d'améliorer l'assimilation de l'azote non protidique dans des proportions importantes. On a ainsi essayé d'apporter de l'urée à la luzerne déshydratée, ce qui a donné naissance au « Purdue 64 » puis au « Purdue 65 »; l'adjonction de 7 % d'urée remonte le taux d'azote à 35,40 %. Suivant son prix d'achat la luzerne pourrait donc être en mesure de concurrencer les tourteaux.

Le soja :

Récolté vert il peut être ensilé avec le maïs-fourrage et donner ainsi un ensilage de premier ordre sans addition d'acides ou de bactériostatiques.

Pour cela, le maïs et le soja peuvent être cultivés séparément et être alors mélangés au moment de l'ensilage à raison d'une tonne de soja pour 2 à 4 tonnes de maïs-fourrage ou bien semés ensemble dans un même champ (Morrison, 1959).

On obtient dans tous les cas un ensilage plus riche en protéines mais un peu plus faible en substances digestibles totales et en énergie nette.

En raison de cet enrichissement en protéines et de l'effet du soja sur la fertilité du sol, cette méthode présente un certain intérêt.

Les tourteaux :

Le déficit azoté pourra être facilement corrigé par un supplément de tourteaux dont nous ne citerons que les

principaux : le tourteau de soja, de coton, de lin, de tournesol et de colza.

On utilisera des tourteaux titrant entre 300 et 400 g de matières azotées digestibles par kg à des doses variables suivant le poids des animaux et la forme de maïs employée.

A titre d'exemple, ces dernières doivent représenter environ 14 à 17 % de la matière sèche de l'ensilage de maïs plante entière.

L'apport d'azote non protéique

La faculté des micro-organismes du rumen des bovins à utiliser des sources d'azote non protéique pour fabriquer des protéines vraies qui peuvent être transformées en viande ou en lait, a fait étudier un certain nombre de composés non protéiques jusqu'alors non utilisés en alimentation animale.

Belasco I.J. (1954) a examiné l'utilisation de l'azote de nombreux composés : urée, biuret, aliments ammoniaqués (acétate, bicarbonate, carbonate et lactate d'ammonium) ainsi que des acides aminés (glutamine, glycine)...

En plus des composés énumérés, l'asparagine et le formiate d'ammonium ont été essayé avec quelque succès.

Les acides aminés ne sont cités qu'à titre indicatif car ils sont trop coûteux pour être employés dans l'alimentation des ruminants.

L'urée

Elle peut être utilisée avec beaucoup de succès en complémentation de rations à base de maïs-fourrage.

Mécanisme d'action :

A l'intérieur du rumen l'urée de la ration va être rapidement dissoute et hydrolysée par l'uréase bactérienne en ammoniaque qui peut être utilisée par les bactéries du rumen pour synthétiser les acides aminés nécessaires à leur croissance.

Les protéines microbiennes ont une valeur biologique de 60 à 70 et serviront à constituer les protéines de l'organisme.

L'efficacité avec laquelle les ruminants utilisent l'urée est proportionnelle à la teneur de la ration en glucides rapidement assimilables et inversement proportionnelle à la teneur en protides. Le maïs-fourrage se prête donc particulièrement bien à cette supplémentation.

Utilisation de l'urée :

Un des problèmes principaux pour une utilisation efficace de l'urée par les ruminants réside en une libération trop rapide de l'ammoniaque. Bloomfield et al. (1960) indiquent que l'hydrolyse de l'urée se produit quatre fois plus vite que l'absorption de l'ammoniaque libéré et il peut s'ensuivre une perte d'azote non utilisé dans les synthèses microbiennes.

De nombreux chercheurs se sont efforcés ces dernières années de découvrir des moyens de réduction de cette vitesse de décomposition de l'urée (antibiotiques, acide barbiturique, immunité...) ou de l'augmentation de la rapidité de l'absorption d'urée. Cette dernière est fonction à la fois du gradient de concentration et du pH.

Période d'adaptation :

Etant donné qu'une petite fraction de l'urée produite par le foie pénètre dans la panse par l'intermédiaire de la salive et également directement au travers de la paroi

de la panse (Simonnet. Le Bars et Mollé, 1957), le ruminant entretient en permanence une flore uréolytique qui décompose cette urée.

Au commencement de l'adjonction d'urée à la ration cette flore doit tout simplement s'adapter à l'augmentation de la concentration uréique qui en résulte.

Il s'ensuit une augmentation de la quantité d'ammoniaque (Zucker, 1968). Campling, Freer et Balch (1962) estiment cette période d'adaptation à 5 jours environ.

Distribution :

On a observé de meilleurs résultats du point de vue taux d'ingestion et de production lorsque l'on pouvait étaler l'ingestion de l'urée par les animaux.

Campbell et al. (1963) ont montré que les gains des génisses et l'efficacité des aliments employés étaient plus élevés quand le concentré riche en urée était donné six fois au lieu de deux fois par jour.

Déséquilibre des acides aminés du rumen et besoins plus importants en matières minérales :

Chalupa (1968) montre des déficiences ou des déséquilibres en acides aminés des micro-organismes du rumen pouvant expliquer les performances réduites des animaux recevant des rations à haute teneur en urée.

L'existence d'acides aminés limitants a été mise en évidence par des analyses du contenu du rumen, du plasma sanguin et par l'utilisation d'N 15.

De nombreux auteurs ont ainsi montré des déficiences en méthionine (Ellis et al., 1959), tryptophane (Ellis et al., 1959; Preston, 1961; Loosli et al., 1949), histidine (Duncan et al., 1953), lysine et méthionine (Richardson and Tsien, 1963), isoleucine, valine, proline et phénylalanine (Little et al., 1966; Oltjen

et Puttman, 1966). Mais l'addition d'acides aminés à ces rations n'a pas donné de résultats valables.

D'autre part on sait que les micro-organismes du rumen ont besoin pour leur croissance et leur métabolisme d'une certaine quantité de matières minérales. Dans l'utilisation de rations riches en urée une attention toute particulière doit être apportée à la supplémentation de celle-ci avec des taux appropriés de calcium, phosphore, soufre, cobalt et zinc, car le remplacement des composés protéiques, habituellement utilisés, par l'urée supprime une source d'apport. Notons que le soufre est plus particulièrement important pour les synthèses microbiennes des acides aminés soufrés.

Karr et al. (1965) pensent que les effets bénéfiques de la farine de luzerne déshydratée sur l'utilisation de l'azote non protéique serait due en partie au moins aux matières minérales qu'elle contient.

Emploi de l'urée :

— *Alimentation des bovins sevrés en croissance :*

L'urée a été étudiée dans de nombreuses expériences sur des bovins en croissance et a toujours permis un croît appréciable employée comme complémentation de rations pauvres en protéines (Baker M.L., 1944; Mc Clymont, 1948; Reid, 1953). Loosli et al. (1942) montrent une bonne utilisation de l'urée dès la septième semaine.

— *Engraissement des bovins :*

Baker, Arthaud et Grégory (1949) ont enregistré des croîts égaux avec de l'urée ou du soja utilisés comme compléments à une ration ne contenant que de l'ensilage de maïs et du maïs égrainé,

— *Alimentation de vaches laitières :*

Les études font toutes apparaître que l'urée peut remplacer une partie des sources de protéines dans les rations des vaches laitières en lactation.

Suivant les expériences, elle a donné des résultats comparables ou inférieurs à ceux observés avec le tourteau de soja ou d'autres aliments contenant des protéines.

Formes d'utilisation :

Elles sont nombreuses et varient selon le mode d'utilisation du maïs-fourrage.

— Pulvérisations sur les pâtures :

Cette méthode mise au point en Afrique du Sud ne présente pas d'intérêt ici.

— Poudre ou pellets cubiques :

Ces produits très concentrés en urée sont très bien acceptés par les animaux.

— Pulvérisation sur le fourrage :

Uniquement lors de la consommation de maïs-fourrage vert ou sec.

— Blocs à lécher :

Des adjuvants y sont incorporés afin d'attirer les animaux ou d'éviter une consommation exagérée.

— Addition d'urée aux ensilages :

C'est la technique qui semble la mieux adaptée, bien qu'elle soit délicate et qu'elle implique un certain nombre de contraintes :

— teneur en matière sèche de l'ensilage suffisante (optimum 30 %),
— très bonne réussite de l'ensilage (hachage fin, tassage énergique...).

On peut incorporer l'urée soit à la récolte du maïs par un distributeur adapté à l'ensileuse, soit à la confection

du silo par épandage de l'urée sur des couches successives de fourrage, l'incorporation devant être aussi homogène que possible.

Cette méthode présente de nombreux avantages, elle permet de cacher le mauvais goût de l'urée, une absorption continue du complément tout au long de la journée et enfin une mécanisation complète de la distribution des aliments.

L'urée joue le rôle de substance tampon pendant toute la durée de l'ensilage et entraîne la formation de taux plus élevés d'acides organiques (Thomas, 1966; tableau XIX), en particulier de l'acide lactique et de l'acide acétique (Schmutz, 1966; Austin, 1967).

Les pertes en matière sèche sont augmentées par rapport à un ensilage normal (tableau XX).

Les pertes en azote peuvent être très importantes dans le cas d'un ensilage à forte teneur en humidité (30 % de l'urée pour Schmutz, 1966), mais lorsque nous avons un produit à forte concentration en matière sèche les pertes d'urée par le jus sont négligeables (Austin, 1967).

Coppock et Stones (1965) recommandent l'addition d'urée au maïs au moment de son ensilage dans la proportion de 5 kg pour 1 000 kg de fourrage vert.

Cet apport d'urée fait passer la quantité de matières azotées digestibles de l'ensilage ainsi complémenté à 65 - 80 g par kg de matière sèche, ce qui est encore insuffisant compte tenu des besoins des animaux.

Notons qu'un certain nombre de précautions sont à prendre au sujet de la toxicité des jus, souvent très riches en urée quand le maïs a été récolté trop humide.

Doses :

Huber et al. (1968) ont montré que lors d'incorporation d'urée à un concentré, on observe une diminution

de la production laitière de vaches à haut rendement, quand celle-ci fournit 22 à 25 % de l'azote total de la ration.

Une diminution de l'appétence a également été observée avec des concentrés possédant une teneur supérieure à 2 % d'urée. Cependant l'addition de différents produits (mélasse, farine de luzerne déshydratée, chlorure de cobalt, soufre, amidon, diéthylstilbestrol) peut augmenter la consommation de ce concentré.

En fait, les nombreux travaux effectués pour déterminer les doses optima donnent souvent des résultats divergents suivant la ration employée (teneurs en glucides, matières minérales et protides) et la fréquence de distribution.

Nous devons cependant admettre avec CHALUPA (1968) que l'apport d'urée ne doit pas dépasser 1 % de la ration (en matière sèche) et 1/3 de l'équivalent protéique total.

En conclusion, nous pouvons rappeler que l'urée s'est montrée aux Etats-Unis un produit de remplacement possible des protéines végétales dans les rations à base de maïs-fourrage destinées aux bovins laitiers et de boucherie.

Cependant l'animal ne peut ingérer une grande quantité d'urée et la limite d'utilisation habituellement recommandée par les nutritionnistes est souvent insuffisante pour assurer au maïs un équilibre compatible avec des croissances élevées.

Le biuret

Produit de condensation de l'urée, le biuret a été à l'origine de nombreuses études (BERRY, RIGGS et KUNKEL, 1956; BELASCO, 1954; HATFIELD et GARRICUS, 1958; MEISKE et al., 1955; ANDERSON et al., 1959; IWATA, 1959; CAMPBELL, 1963).

Il ressort de ces nombreux résultats et opinions divergents que le biuret pourrait constituer une source d'azote intéressante après une période d'adaptation de 2 à 5 semaines, il assurerait une fixation légèrement inférieure à celle de l'urée, mais serait moins toxique aux taux courants d'utilisation.

Cependant ce produit n'est pas actuellement disponible dans le commerce et n'a donc pas pour le moment d'importance pratique.

Les aliments ammoniaqués

Milar (1942) et Siles (1952) ont mis au point des méthodes d'imprégnation de certains produits par l'ammoniaque afin de donner des composés susceptibles de libérer l'azote plus lentement que l'urée. éliminant ainsi toute toxicité et améliorant la synthèse de l'azote.

De nombreux produits ont ainsi été étudié : pulpes de betteraves et d'agrumes ammoniaqués, mélasse et pailles ammoniaquées. ainsi que des dérivés industriels tels les résidus du furfural, qui n'ont d'ailleurs trouvé aucun débouché pratique important en alimentation des ruminants.

Le traitement de l'ensilage du maïs par l'ammoniaque (Abagarowicz et al., 1962; Baia, Ariesame et Iliescu, 1962) ou par des sels d'ammonium (Modianov, 1962) semble être beaucoup plus intéressant.

Phosphate - Urée

Perez, Warner et Loosli (1967) ont obtenu de bons résultats avec ce produit qui fournit à la fois du phosphore et de l'azote, tous deux bien utilisés par les bovins.

Les gadoues et les litières de poulailler

En raison de leur richesse en azote, elles peuvent représenter une valeur certaine pour les ruminants, mais présentent de sérieux problèmes de palatibilité.

Complémentation minérale

En raison de la faible teneur du maïs-fourrage en matières minérales, on ne saurait trop souligner l'importance d'un apport minéral copieux et équilibré en complément de cet aliment.

Les éleveurs ont généralement l'habitude de se soucier de l'équilibre phosphocalcique mais l'utilisation libérale du maïs nécessite de se préoccuper aussi de quelques oligo-éléments déjà cités dans cet ouvrage, notamment le zinc et le cuivre.

En effet, des accidents dus à des carences en ces oligo-éléments (boiteries, chute de poils et ralentissement de la croissance) ont déjà été observés en Bretagne sur des taurillons alimentés presque exclusivement avec du maïs-fourrage.

Il est conseillé d'employer un complément minéral dont on connaît avec précision la nature de ses constituants, sa composition, lorsqu'il est distribué en moyenne à raison de 100 g, pouvant être :

Phosphate bicalcique.	60 %
Chlorure de sodium.	20 %
Sulfate de sodium.	10 %
Sulfate de magnésium.	7 à 8 %

Sulfate de zinc.....	1 %
Sulfate de fer.....	1 %
Sulfate de manganèse.....	0,3 %
Sulfate de cuivre.....	0,4 %
Sulfate de cobalt.....	0,01 %
Vitamine A et D.....	+

CINQUIÈME PARTIE

LES ACCIDENTS DUS A L'ALIMENTATION A BASE DE MAIS-FOURRAGE

En dehors des troubles digestifs assez banaux dus souvent à des erreurs alimentaires de la part de l'éleveur, les accidents dus à l'alimentation à base de maïs-fourrage sont assez rares.

Ils peuvent être dus soit à une substance antinutritionnelle présente naturellement dans le maïs, soit à des altérations de la plante.

Enfin l'emploi de l'urée dans la supplémentation du maïs-fourrage peut parfois être à l'origine d'intoxications.

Présence d'une substance antinutritionnelle naturelle

Hypothyroïdie (Ladrat J., 1970)

La distribution comme seul fourrage grossier d'ensilage de maïs à des vaches laitières aux Etats-Unis (Maryland) a provoqué l'apparition de goitres chez certains de leurs

veaux ainsi que des rétentions de placenta. Ces anomalies ne furent pas observées sur la descendance du troupeau témoin nourri avec du foin de luzerne et le même ensilage de maïs.

Hétérosides cyanogénétiques

Certains auteurs (Liener, 1969) ont noté l'existence de ces substances dans le maïs. Leur présence pourrait être liée à l'observation de J. Ladrat étant donné que l'on sait que chez les crucifères l'action goitrigène est due à l'intervention d'hétérosides cyanogénétiques.

Troubles urinaires

G. Moussu et R. Moussu (1928) notent des symptômes de lithiase et de coliques néphrétiques dus à la formation de calculs au niveau des reins et de la vessie. Seuls les panicules mâles seraient toxiques et pour les faire fondre, il est recommandé de distribuer des stigmates de fleurs femelles.

Substances inhibitrices

Rappelons ici l'existence d'une maladie humaine, la Pellagre, dans les régions où le maïs est utilisé comme source principale d'alimentation. L'effet dystrophiant du maïs est attribué d'une part au déséquilibre des acides aminés de ses protéines, d'autre part à certains facteurs empêchant l'utilisation de la Niacine (Niacinogène) ou augmentant le besoin de cette vitamine (Antiniacine) déterminant ainsi l'apparition des troubles. Cependant cette affection n'existe pas chez les bovins, les micro-organismes de la panse empêchant par leur action l'apparition d'une carence en niacine.

Altérations du maïs dues a des micro-organismes

— Les Ustilaginales sont des champignons parasites entraînant des troubles importants dans le développement de la plante hôte, connus sous le nom de charbon du maïs.

Ils pourraient, semble-t-il, être à l'origine de désordres physiologiques désignés sous le nom d'Utilagisme, mais, sur ce point, nous rencontrons une série d'opinions divergentes (R. Ferrando et M^lle^ N. Henry, 1968).

Certains auteurs affirment en effet avoir observé des avortements (Lewin), des pneumonies (Ivanov, 1949) et même des cas mortels (Leonhart H., 1951).

Cependant, les travaux de Levenberg et Noskov (1966) semblent apporter un démenti à ces observations.

Devant une telle diversité d'opinions, nous pensons qu'il convient d'être prudent dans l'utilisation du maïs charbonné, sans toutefois être complètement persuadé de la toxicité de ce végétal.

— Les Rouilles sont des champignons de la famille des Urédinés qui s'attaquent à la plante, ils ne semblent pas présenter de dangers pour les animaux (C. Séjourné, 1961).

— D'autres micro-organismes : bactéries, levures et moisissures peuvent par contre entraîner des intoxications plus ou moins graves, mais celles-ci demeurent heureusement très rares (C. Séjourné, 1961).

Azote non protéique - L'urée

L'urée en soi n'est pas toxique, le métabolisme des mammifères en produit constamment d'importantes quantités, mais par contre la libération trop brutale d'ammo-

niaque à partir de l'urée peut entraîner des intoxications (Zücker H., 1968).

Symptômes

En cas d'intoxication uréique aiguë on pourra observer des symptômes de salivation, tremblements, accélération de la respiration, incoordination, puis le coma et la mort en 1,5 à 2,5 heures après les premiers signes cliniques.

Causes

Le surdosage :

— *Absolu :*

Les symptômes de toxicité apparaissent quand la teneur du sang en ammoniaque atteint une valeur critique de 1 à 4 mg/100 ml. La dose toxique a été déterminée par de nombreux auteurs aux alentours de 40 à 50 g d'urée par 100 kg de poids vif.

— *Relatif :*

Des cas d'intoxication peuvent également être observés en distribuant des doses d'urée inférieures quand il existe déjà dans la panse de l'azote non protéique en quantité importante apportée par la salive ou provenant de la dégradation des protéines de la ration ou lorsque la période d'adaptation nécessaire n'est pas suffisamment bien respectée.

Libération trop brutale d'ammoniaque :

Nous avons étudié l'intérêt de fractionner le plus possible les doses quotidiennes apportées; en effet, la libération trop brutale d'ammoniaque et son absorption plus lente feront qu'une certaine quantité d'urée distribuée en une seule fois sera beaucoup plus toxique que cette même quantité répartie sur un certain nombre de repas.

Etat des animaux :

L'incapacité du foie à transformer la trop grande quantité d'ammoniaque émise par l'urée est responsable d'une teneur importante du sang en cet élément et ainsi de la possibilité d'intoxication.

Dans le cas d'animaux présentant un foie parasité ou malade, le taux de toxicité sera grandement diminué.

L'état du rein jouera également un rôle important.

Traitement

En cas d'intoxication uréique il y a lieu d'administrer rapidement quelques litres de vinaigre de table dès l'apparition des premiers symptômes. La guérison est alors de règle (Zücker, 1968).

CONCLUSION

Le maïs-fourrage connaît depuis quelques années un succès considérable dans différentes régions françaises au point que cette année sa culture a été estimée à une superficie de 230 000 ha.

Plusieurs raisons permettent d'expliquer cet essor :

— *Haute productivité liée à une facilité de culture entièrement mécanisée.*

La maîtrise des techniques de production du maïs a sans aucun doute contribué au développement spectaculaire de sa culture en France.

La définition de matériels génétiques adaptés et variés, les techniques de préparation des sols, de semis, de traitement, de récolte, ont permis par des mises au point successives ce résultat, démontrant, dans le même temps, l'efficacité d'une bonne diffusion du progrès technique.

— *Souplesse de conservation et d'utilisation.*

La plante se prête bien aux différents moyens de conservation connus actuellement. Il est particulièrement facile de réussir un ensilage de maïs-fourrage en raison

de sa forte teneur en glucides, à la seule condition qu'il présente une teneur en matière sèche suffisante. D'autre part, la période de végétation du maïs est telle qu'il peut être intéressant de le déshydrater car au moment de sa récolte, il est la seule plante que peut traiter une usine de déshydratation en zone herbagère.

Le même champ de maïs peut servir à préparer des aliments de concentration énergétique variable (épi complet - grain seul - plante entière).

— *Haut niveau énergétique.*

Le maïs, quelle que soit son utilisation, a une valeur énergétique élevée et à ce titre il constitue un puissant, voire un exceptionnel instrument d'intensification des productions animales.

Avec les progrès génétiques intervenus, le niveau énergétique devient de plus en plus un facteur limitant primaire pour l'obtention de performances zootechniques élevées.

En tant que fourrage grossier le maïs-fourrage offre plus de possibilités à ce titre que la plupart des autres fourrages.

— *Performances zootechniques.*

Le maïs-fourrage permet, nous l'avons vu, de réaliser des performances élevées dans des conditions économiques satisfaisantes.

Cependant, malgré les progrès technologiques obtenus ces dernières années, des voies nouvelles restent à explorer telles la finesse de hachage et de broyage avant la mise

en silo pour diminuer au maximum les pertes de grains non entièrement digérés par les ruminants (Coléou, 1970).

Le succès du maïs-fourrage devrait, nous le pensons, continuer à progresser dans les années à venir et pouvoir concurrencer fortement l'herbe dans les zones à techniques traditionnelles de récolte et de conservation.

Vu : *Le Professeur de l'Ecole Vétérinaire,*
Rapporteur,
L. FALIU.

Vu : *Le Directeur de l'Ecole Vétérinaire,*
pour le Directeur,
le Professeur délégué,
A. BRIZARD.

Vu : *Le Président de la Thèse,*
ROUX.

Vu : *Le Président*
de l'Université Paul-Sabatier,
L. LARENG.

Vu et permis d'imprimer :

Toulouse, le 17 février 1971.

Le Recteur,
Président du Conseil de l'Université,
C. CHALIN.

BIBLIOGRAPHIE

1. Abgarowicz (F.) et al., 1962. — Maïs ensilé avec de l'urée pour l'engraissement des bovins en croissance. *Przegl. hodow., 30,* 11 (En polonais).
2. A.G.P.M. — *Données techniques.*
3. Anderson (G.C.) et al., 1959. — Comparative effects of urea, uramite, biuret, soyabean protein, and creatine on digestion and nitrogen metabolism in lambs. *J. Anim. Sci., 18,* 134-140.
4. Andrieu (J.), 1959. — Evolution morphologique du maïs et de sa production de matière sèche par hectare entre la floraison et la maturité. *Association française de zootechnie,* rapport n° 27.
5. Andrieu (J.), 1970. — Valeur alimentaire du maïs-fourrage. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.
6. Attonaty (M.), 1970. — La place du maïs-fourrage dans l'économie de l'entreprise de la production laitière. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.
7. Bahanov (V.N.), Mamaev (V.A.), Davydova (L.B.) et Ermahov (V.P.), 1966. — Essai d'alimentation de longue durée de vaches laitières avec du maïs ensilé. U.R.S.S. *Izvestija Timirjazevskoj seiskohozjajstvennoj Akademii, 4,* 197-207.
8. Baia (G.), Ariesanu (I.) et Iliescu (V.), 1962. — Résultats des recherches sur l'emploi d'une solution ammoniacale dans les rations de vaches laitières et de bovins en croissance. Institutul Central de Cercetari Agricole. *Masuri pentru Cresterea Continutului de Proteina in Nutreturi.* Bucuresti, Ed. Agro-Silvica, p. 125-132 (En Roumain).

9. Baker (M.L.), 1944. — The substitution of distillers' wheat, dried grains or urea for soybean oil meal for wintering heifer calves. Lincoln, *Nebraska Agricultural Experiment Station.* Fifty-eighth annual report, 69 p.

10. Baker (M.L.), Arthaud (V.H.) et Gregory (K.E.), 1949. — Feeding urea to growing and fattening calves. Lincoln, *Nebraska Agricultural Experiment Station.* Sixty-second annual report, 75 p.

11. Bayet (R.). — La luzerne déshydratée en alimentation animale. *Thèse,* Toulouse, 1969.

12. Belasco (I.J.), 1954. — New nitrogen feed compounds for ruminants. A laboratory evaluation. *J. Anim. Sci., 13,* 601-610.

13. Ben Moura (P.). — L'ensilage des fourrages verts. Utilisation dans l'alimentation des vaches laitières. *Thèse,* Toulouse, 1949.

14. Barthélémy (P.) et Mosnier (M.). — Le maïs-fourrage dans une usine de déshydratation de l'est de la France (Cuma de Rioz à Tresilley). *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

15. Berry (W.T., Jr), Riggs (J.K.) and Kunkel (H.O.), 1963. — The lack of toxicity of biuret to animals. *J. Anim. Sci., 22,* 139-145.

16. Biteau (G.), 1969. — Le maïs-fourrage déshydraté et condensé peut-il se substituer aux céréales pour la production intensive de viande bovine ? *Association française de zootechnie.* Rapport n° 51.

17. Blanpain (B.G.J.). — Le blé en alimentation animale. Résorption des excédents. *Thèse,* Alfort, 1967.

18. Bloomfield (R.A.), Garner (G.B.) and Muhrer (M.E.), 1960. — Kinetics of urea metabolism in sheep. *J. Anim. Sci., 19,* 1248.

19. Bresson (C.). — L'ensilage. *Thèse,* Alfort, 1959.

20. Caballero Delpino (H.), 1965. — Valor nutritivo comparativo para la engorda de novillos de tres clases de ensilajes: maiz, hojas y coronas de remolacha azucarera y pulpa humida de remolacha azucarera. *World Review of Production, 1,* 96-106.

21. Campbell (T.C.) et al., 1963. — Utilization of biuret by ruminants. *J. Anim. Sci., 22,* 139-145.

22. Canal (L.), 1969. — Semences de maïs. *B.T.I., 243,* 691-699.

23. Cardin (J.). — Le maïs-grain en alimentation animale. *Thèse,* Alfort, 1966.

24. Chalupa (W.), 1968. — Problems in feeding urea to ruminants. *J. Anim. Sci., 27,* 207-216.

25. Chanal (J.), 1969. — Maïs ensilé ou maïs déshydraté ? *P.A.F., 57,* 12.

26. Charlet-Lery (G.), Tisserand (J.L.) et Zelter (S.Z.), 1969. — Valeur nutritive des céréales immatures (orge-maïs) ensilées ou déshydratées. *Association française de Zootechnie.* Rapport n° 20.

27. Chesneau (J.C.), 1967. — Les potentialités du maïs-fourrage. *Journées d'information sur la production des fourrages et des céréales et leur transformation en viande de bœuf,* janvier 1967, p. 35-38.

28. Chesneau (J.C.), 1967. — La meilleure utilisation du maïs-fourrage. *P.A.F., 2,* 20-21.

29. Chesneau (J.C.), 1968. — Récoltez le maïs-fourrage au meilleur stade de maturité. *P.A.F., 34,* 12-13.

30. Chesneau (J.C.), 1969. — La fertilisation azotée du maïs. *P.A.F., 49,* 12-13.

31. Chesneau (J.C.), 1970. — Evolution dans le temps de la production de matière sèche. Rappel des techniques culturales du maïs-ensilage. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

32. Coléou (J.), 1966. — Le maïs dans l'alimentation et l'organisation des ateliers de production des ruminants. *A.V.,* 4-5-6, 141-151.

33. Coléou (J.), 1970. — Développement de l'utilisation du maïs. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

34. Colin (J.), 1967. — La flore et la faune de la panse des ruminants. Effets d'une alimentation à base d'ensilage. Etude technique I.N.R.A., *S.E.I.,* n° 32.

35. Coppock (C.E.) and Stone (J.B.), 1965. — Corn silage for dairy cattle. *Proc. Cornell. Nutr. Conf.,* 59-79.

36. Corbin (M.), Vivier (M.), Hedin (L.) et Mlle Duval (E.), 1961. — Essais d'ensilage dans le Calvados. *Fourrages, 8,* 108-120.

37. Crampton (E.W.) and Harris (L.E.), 1969. — *Applied animal nutrition.* Freeman (W.H.) and Company, San Francisco, 2e édition, 557-561.

38. Craplet (C.), 1966. — *Traité d'élevage moderne,* tome 8, 3 vol., 1078 p. Vigot Frères, Paris.

39. Demarquilly (C.). — Valeur alimentaire des foins et des fourrages déshydratés. *B.T.I., 226,* 59-69.

40. Desbordes (R.), 1961. — Production fourragère dans le Corn-Belt. *Fourrages, 8,* 183-189.

41. Dolz (J.), 1970. — La mesure des caractéristiques physiques d'un fourrage déshydraté et aggloméré. Méthodes de mesure et applications. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

42. Dubost (M.), 1970. — Maïs plante ou maïs grain dans l'économie de l'atelier de production de jeunes bovins. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

43. Duncan (C.W.), Agrawala (I.P.), Huffman (C.F.) and Luecke (R.W.), 1953. — A quantitative study of rumen synthesis in the bovine on natural and purified rations. II. Amino acid content of mixed rumen proteins. *J. Nutr., 49,* 41.

44. Elder (A.L.), Rathman (D.M.) and Conway (T.F.), 1964. — *Qualitas plantarum et materiae vegetabilis, 11,* 67-77.

45. Elder (A.L.) et Rathman (D.M.), 1966. — Le maïs nourriture traditionnelle en Amérique du Nord. *A.V.,* 4-5-6, 72-77.

46. Ellis (W.C.), Flynn (D.M.), Hargus (W.A.) and Pfander (W.H.), 1959. — Tryptophan, methionine, and lysine content of rumen contents in relation to nitrogen utilization by lambs fed purified rations. *Fed. Proc., 18,* 524.

47. Ergan (M.), 1970. — Libre-service du maïs ensilage pour un troupeau de vaches laitières. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

48. Essig (H.W.), 1968. — Urea limestone treated silage for beef cattle. *J. Anim. Sci., 27,* 730-738.

49. Faucon (A.), 1970. — Le maïs-fourrage et la production de viande bovine. Synthèse de certains des résultats obtenus en France sur ce thème. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

50. Fauconneau (G.) et Pion (R.), 1965. — Composition en acides aminés des protéides de quelques plantes fourragères. *Fourrages, 22,* 60-63.

51. Feillet (P.), 1967. — Les protéines solubles des céréales. *Ann. Technol. Agric., 16,* 2, 135-189.

52. Ferrando (R.) et M^lle^ Henry (N.), 1968. — Intoxications causées chez l'animal par le charbon du maïs. *A.V., 56,* 10-11-12, 274-276.

53. Gouet (Ph.), 1970. — Théorie et pratique de l'ensilage du maïs. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

54. Hammes (R.C.) et al., 1968. — Relative value of different fourrages and supplements for nursing and early weaned beef cattle. *J. Anim. Sci., 27,* 509-515.

55. Hammes (R.C.) et al., 1968. – Supplements to corn and hay-crop silages for fattening beef cattle. *J. Anim. Sci., 27,* 1690-1694.

56. Hansson (N.), 1934. — Alimentación de los animales domesticos. (Version espagnole par le Professeur Cerda Gomez). Imprenta de Juan Pueyo, Madrid.

57. Huber (J.T.), Graf (G.C.) and Engel (R.W.). — *J. Dairy Sci.,* 1965, *48,* 1121.

58. Huber (J.T.), Polan (C.E.) and Hillman (D.), 1968. — Urea in high corn silage rations for dairy cattle. *J. Anim. Sci., 27,* 220-226.

59. Ingle (J.), Beitz (D.), Hageman (R.H.), 1965. — Change in composition during development and maturation of maize seeds. *Plant. Physiol., 40,* 835-839.

60. I.T.C.F., 1968. — Etude sur l'utilisation du maïs-fourrage déshydraté par des jeunes bovins. Compte rendu d'essais.

61. I.T.C.F., 1970. — Utilisation du maïs déshydraté, de l'ensilage de maïs et de l'urée par des jeunes bovins. Compte rendu d'essais.

62. Ivanov (X.), 1949. — Pneumonia in cattle caused by spores of Ustilago maydis. *C. R. Acad. Bulg. Sci., 2,* 49-52.

63. Iwata (H.), 1959. — Effects of urea and its derivatives on milk production and quality. *Proc. 15th int. Dairy Congr., 1,* 54-58.

64. Jacquot (R.) et Ferrando (R.), 1957. — Les Tourteaux. 1 vol., 116 p., Vigot Frères, Editeurs, Paris.

65. Jennings (A.C.), Morton (R.K.), 1963 a. — Changes in carbohydrate, protein and non-protein nitrogenous compounds of developing wheat grain. *Austral. J. Biol. Sci., 16,* 318-331.

66. Jennings (A.C.), Morton (R.K.), 1963 b. — Aminoacids and protein synthesis in developing wheat endosperm. *Austral. J. Biol. Sci., 16,* 384-394.

67. Johnson (R.R.), Balwain (T.C.), Johnson (L.J.), Mc Clure (K.E.) and Dohority (B.A.), 1966. — Corn plant maturity. II. Effect on in vitro cellulose digestibility and soluble carbohydrate content. *J. Anim. Sci., 25,* 617-623.

68. Johnson (R.R.), Mc Clure (K.E.), Klosterman (E.W.) and Johnson (L.J.), 1967. — Corn plant maturity. III. Distribution of Nitrogen in corn silage treated with limestone, urea and diammonium phosphate. *J. Anim. Sci., 26,* 394-399.

69. Johnson (R.R.) and Mc Clure (K.E.), 1968. — Corn plant maturity. IV. Effects on digestibility of corn silage in sheep. *J. Anim. Sci., 27,* 535-540.

70. Karr (M.R.), Garrigus (U.S.), Hatfield (E.E.) and Norton (H.W.), 1965. — Factors affecting the utilization of nitrogen from different sources by lambs. *J. Anim. Sci., 24,* 459.

71. Klosterman (E.W.), Johnson (L.J.), Moxon (A.L.) and Grifo (A.P. Jr), 1964. — Utilization of carotene from corn silage by steers. *J. Anim. Sci., 23,* 723.

72. Klosterman (E.W.), Althouse (P.G.) and Cahill (V.R.), 1965. — Effect of corn silage or ground ear corn full fed at various stages of growth and fattening upon carcass composition of beef cattle. *J. Anim. Sci., 24,* 454-458.

73. Ladrat (J.), 1970. — De quelques relations entre l'alimentation et la santé des bovins. *Le document technique de la S.C.P.A., 4,* 3-8.

74. Laudren (M.), 1970. — Le maïs ensilé : pôle de développement d'une production organisée de viande bovine en Bretagne. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

75. Laura (M.). — Le maïs-fourrage et la production de viande en Normandie. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

76. Lavallée (M.). — Ensilage des fourrages en Algérie. *Thèse,* Lyon, 1935.

77. Le Bars (H.) et Vaillant (R.), 1966. — Biochimie du rumen. Congresso mundial de alimentación animal, Madrid.

78. Leonhardt (H.), 1951. — Über vergiftungen durch brandpilzsporenbefallene Simsen (Scirpus). *Berl. Münch. Tierräztl. Wschr., 9,* 179-180.

79. Levenberg (I.G.) et Noskov (A.I.), 1966. — Inocuité du maïs infesté par Ustilago zeae. *Veterinarya* (Moscou), *43,* 10, 82-83.

80. Liener (I.E.), 1969. — Toxic Constituents of Plant Foodstuffs. Montgomery (R.D.), in *Academic Press,* New York and London, 500 p.

81. Little (C.O.), Mitchell (G.E.) and Reitmour (C.M.), 1968. — Post ruminal digestion of corn starch in steers. *J. Anim. Sci., 27,* 790-792.

82. Loosli (J.K.), Williams (H.H.), Thomas (W.E.), Ferris (F.E.) and Maynard (L.A.), 1949. — Synthesis of amino acids in the rumen. *Science, 110,* 144.

83. Loosli (J.K.) et Mc Donald (I.W.), 1969. — L'azote non protéique dans la nutrition des ruminants. *Etudes agricoles de la F.A.O., 75,* 104 p.

84. Loubet (E.), 1969. — Conditions de développement de la production de viande bovine dans une région bretonne. Concurrence et complémentarité entre ensilage et déshydratation artificielle. *Association française de zootechnie.* Rapport n° 61.

85. Maitre (J.). — La conservation des fourrages verts par l'ensilage. *Thèse,* Lyon, 1942.

86. Maquet (E.), 1961. — Mécanisation fourragère aux U.S.A. *Fourrages, 8,* 197-211.

87. Maquet (E.), 1970. — Le matériel de récolte et de transport. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

88. Marchadier (J.) et Dubost (J.C.), 1969. — La ration d'engraissement des jeunes bovins. *P.A.F., 48,* 11-12.

89. Marchadier (J.), 1969. — Le maïs-fourrage dans l'alimentation des bovins. *P.A.F., 53,* 19-20.

90. Marchadier (J.), 1969. — Le maïs-fourrage déshydraté ou ensilé dans la production intensive de viande bovine. *Association française de zootechnie.* Rapport n° 52.

91. Marchadier (J.), 1970. — Résultats expérimentaux sur l'utilisation du maïs dans l'alimentation des jeunes bovins. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

92. Martin (J.L.), 1966. — Le maïs matière première de l'amidonnerie-glucoserie. *A.V., 54,* 4-5-6, 98-117.

93. Mc Clymont (G.L.), 1948. — Comparative value of urea and protein for supplementing low-protein rations for grazing cattle. *Aust. Vet. J., 24,* 197-204.

94. Mc Cullough (M.E.), 1968. — Influence of hay or silage and ratio of flaked corn or beet pulp to forage on cellulos disappearance in vitro. *J. Anim. Sci., 27,* 780-784.

95. Meiske (J.C.) et al., 1955. — The utilization of urea and biuret as sources of nitrogen for growing fattening lambs. *J. Anim. Sci., 14,* 941-946.

96. Meiske (J.C.) et al., 1965. — Effect of sodium bisulfite additions to corn silages. *J. Anim. Sci., 24,* 705-710.

97. Mertz (E.T.), Bates (L.S.) and Nelson (O.E.). — *Science*, 1964, *145*, 279-280; 1965, *148*, 1741-1742; 1965, *150*, 1469-1470.

98. Millar (H.C.), 1942. — Ammoniated agricultural materials. *U.S. Patent*, *2*, 293, 854.

99. Miller (R.W.), Moore (L.A.), Waldo (D.R.) and Wrenn (J.R.), 1967. — Utilization of corn silage carotene for dairy calves. *J. Anim. Sci.*, *26*, 624-627.

100. Moal (J.), 1966. — Le maïs dans l'alimentation des porcs et des volailles. *A.V.*, *54*, 4-5-6, 118-140.

101. Modianov (A.V.), 1962. — L'ensilage de maïs avec addition d'urée et de sels d'ammonium. Institutul Central de Cercetari Agricole Masuri pentru Cresterea Continutului de Proteina in Nutreturi. Bucuresti, Ed. Agro-Silvica. (En Roumain).

102. Monrocq (M.), 1970. — Matériel de reprise, de manutention et de distribution. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère*, 27 et 28 janvier 1970.

103. Montagu (J.), 1970. — La déshydratation, problèmes spécifiques posés par le maïs. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère*, 27 et 28 janvier 1970.

104. Moore (L.A.), Berry (M.H.) and Sykes (J.F.), 1943. — Carotene requirements for the maintenance of a normal spinal fluid pressure in dairy calves. *J. Nutr.*, *26*, 649.

105. Morrison (F.B.). — Feeds and feedings, 1959, 2e édit., 1165 p. The Morrison publishing company, Clinton, Iowa.

106. Moussu (G.) et Moussu (R.). — Maladies du gros bétail, 1928, 5e édit., Vigot Frères, Editeurs, Paris.

107. Murdoch (J.C.), 1961. — Revue des techniques d'ensilage. *Fourrages*, *8*, 95-107.

108. Noller (C.H.), Warner (J.E.), Rumsey (T.S.) and Hill (D.L.). — *J. Anim. Sci.*, 1963, *22*, 1135.

109. O'Donovan (D.J.), 1965. — Source de protéines peu coûteuses pour les ruminants. *Farm. Research News.*, *6*, 141-143.

110. Osborn (T.B.) and Mendel (L.B.). — *J. Biol. Chem.*, 1917, *29*, 69.

111. Oltjen (R.R.) and Putnam (P.A.), 1966. — Plasma aminoacids and nitrogen retention by steers fed purified diets containing urea or isolated soy protein. *J. Nutr., 89,* 385.

112. Perez (C.B.), Warner (R.G.) and Loosli (J.K.), 1967. — Evaluation of urea phosphate as a source of nitrogen and phosphorus for ruminants. *J. Anim. Sci., 26,* 810-819.

113. Perron (J.E.). — Dessiccation artificielle des fourrages. *Thèse,* Alfort, 1952.

114. Piccioni (M.), 1965. — Dictionnaire des aliments pour les animaux. Mise à jour par Hardouin (J.), 1965, 640 p. *La Maison rustique,* Paris.

115. Pinon (J.), 1961. — Le haylage. Présentation du système. *Fourrages, 8,* 180-182.

116. Pinon (J.), 1961. — La conservation et l'utilisation du fourrage par les animaux. *Fourrages, 8,* 197-211.

117. Pollacsek (M.) et Caenen (M.), 1970. — Evolution de la production de matière verte et sèche de maïs durant la maturation. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

118. Preston (R.L.), 1961. — Proteins and amino acids in ruminant nutrition. A Century of Nutrition Progress. Midwest Feed Manuf. Assoc., Kansas City, Mo.

119. Renaud (J.), 1968. — Le choix raisonné des machines pour la récolte et la conservation des fourrages. *B.T.I., 226,* 103-123.

120. Reid (J.T.), 1953. — Urea as a protein replacement for ruminants : a rewiev. *J. Dairy Sci., 36,* 955-996.

121. Reynaud (Y.). — De l'utilisation de l'urée dans l'alimentation des ruminants domestiques. Toxicologie. *Thèse,* Toulouse, 1968.

122. Richardson (D.) and Tsien (W.S.), 1963. — Quantitative determination of the amino acid content of rumen fluid from twin steers fed soybean oil meal or urea. *J. Anim. Sci., 22,* 230.

123. Rousseau et al., 1954. — Relative value of carotene from alfalfa and vitamin A from a dry carrier fed at minimum levels to Holstein calves. *J. Dairy Sci., 37,* 889.

124. Royant (G.), 1969. — Les bâtiments d'élevage. II. Stockage et conservation des aliments. *P.A.F., 44,* 23-25.

125. Saint-Martin (L.), 1968. — Perspectives d'avenir de l'ensilage en sacs plastiques dans les Basses-Pyrénées. *B.T.I., 230,* 493-508.

126. Schaadt (H.), Johnson (R.R.) and Mc Clure (K.E.), 1966. — Adaptation to and palatability of urea, biuret and diammonium phosphate as N.P.N. sources for ruminants. *J. Anim. Sci., 25,* 73-77.

127. Schoutteten (C.), 1965. — Nouvelle méthode d'utilisation du maïs-fourrage en hiver. *B.T.I., 199,* 423-427.

128. Séjourné (Cl.). — Accidents et intoxications provoqués par le blé dans l'alimentation des animaux. *Thèse,* Lyon, 1961.

129. Strasman (A.) et Montagu (G.), 1968. — La voie sèche, aspects technologiques. *B.T.I., 226,* 43-58.

130. Tello (F.), Alvarez-Tostado (M.A.) and Alvarado (G.), 1965. — *Cereal chemistry, 42,* 368-384.

131. Tisserand (J.L.), 1965. — L'urée, source d'azote pour les ruminants. *Revue de l'élevage,* n° spécial, 26-29.

132. Thuronyl (E.), 1970. — L'ensilage de maïs : place dans l'alimentation de troupeaux laitiers du Hainaut-Cambrésis. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

133. Tsurkan (P.A.), 1962. — Etude des protéines solubles du maïs et du sorgho par électrophorèse sur papier (en Russe). *Izv. Akad. Nauk. Moldavsk., 6,* 12-21.

134. Vander Noot (G.W.), Cordts (R.H.) and Hunt (R.), 1965. — Comparative nutrient digestibility of silages by cattle and sheep. *J. Anim. Sci., 24,* 47-50.

135. Vérité (R.), Hoden (A.) et Journet (M.), 1970. — Utilisation de l'ensilage de maïs par les vaches laitières. *Journées d'information sur le maïs plante fourragère,* 27 et 28 janvier 1970.

136. Zeleny (L.), 1935. — The distribution of nitrogen in the seed of Zea Mays at different stages of maturity. *Cereal Chem., 12,* 536-542.

137. Zelter (S.Z.), 1961. — Quelques données récentes sur la conservation par ensilage. *Fourrages, 8,* 82-94.

138. Zücker (H.), 1968. — L'azote non protéique pour l'alimentation du bétail. *Les industries de l'alimentation animale.*

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 11

PREMIÈRE PARTIE. — *Caractéristiques botaniques et culturales* 15

Caractères botaniques 15

Caractères agronomiques 18

— Sols et façons culturales 18

— Assolement 18

— Fertilisation 18

— Besoins en eau et irrigation 19

— Désherbage 19

— Variétés de maïs 20

— Semis 26

— Récolte 28

— Ennemis du maïs 34

DEUXIÈME PARTIE. — *Composition chimique et valeur nutritive* 35

Composition chimique analytique de la plante entière 35

— Teneur en glucides 35

— Teneur en lipides 36

— Teneur en protides 38

— Teneur en éléments minéraux 39

— Teneur en oligo-éléments 40

— Teneur en vitamines 40

— Pigments 48

Variations de ces différents éléments 49

— Différents stades de maturité..... 49
— Sécheresse..... 54
Valeur alimentaire..... 55
— Valeur nutritive..... 55
— Acceptabilité..... 56
— Evolution de la production d'unités fourragères..... 58

Troisième partie. — *Formes d'utilisation du maïs-fourrage*..... 59
Maïs-fourrage vert..... 59
Cimes, feuilles et tiges de maïs..... 62
— Tiges et feuilles..... 62
— Cimes et feuilles..... 64
— Tiges..... 65
— Paille..... 66
Maïs-fourrage ensilé..... 68
— Technologie de l'ensilage..... 68
— Caractéristiques chimiques et nutritives.... 78
— Effets d'une alimentation à base d'ensilage de maïs sur la flore et la faune de la panse.. 84
— Utilisation du maïs-ensilage par les bovins.. 84
— Intérêt de l'ensilage..... 99
Maïs-fourrage déshydraté..... 100
— Introduction : Importance grandissante..... 100
— Technologie..... 100
— Caractéristiques physiques du maïs-fourrage déshydraté et aggloméré..... 103
— Valeur nutritive et emploi du maïs-fourrage déshydraté..... 105
— Conclusion : Avantages..... 110

QUATRIÈME PARTIE. — *Supplémentation du maïs-fourrage* 113
Apport azoté 113
— Apport de protéines 113
— Apport d'azote non protéique 115
Complémentation minérale 123

CINQUIÈME PARTIE. — *Accidents dus à l'alimentation à base de maïs* 125
Présence d'une substance antinutritionnelle naturelle 125
Altérations du maïs dues à des micro-organismes . . 127
Azote non protéique : l'urée 127

CONCLUSION 131

BIBLIOGRAPHIE 135

Imprimerie du Sud-Ouest, 1, rue Tripière - Toulouse.